

500.37149X00

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

Applicant(s): S. MAEDA, et al

Serial No.: 09/294,137

Filed: April 20, 1999

For: DEFECT INSPECTION METHOD AND APPARATUS

Group:

Examiner:

**LETTER**

Assistant Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

June 24, 1999

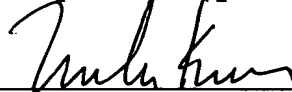
Sir:

Under the provisions of 35 U.S.C. and 37 CFR 1.55, the applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on:

Japanese Patent Application Nos. 10-110383,  
filed April 21, 1998 and 10-264275, filed  
September 18, 1998

The certified copies of said Japanese applications are attached hereto.

Respectfully submitted,



Melvin Kraus  
Registration No. 22,466  
ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP

MK/cee  
Attachments  
(703) 312-6600

# 日本国特許庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日

Date of Application:

1998年 4月21日

出願番号

Application Number:

平成10年特許願第110383号

出願人

Applicant(s):

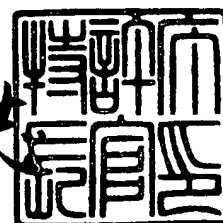
株式会社日立製作所

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

1999年 5月28日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

伴佐山 建志



出証番号 出証特平11-3033849

【書類名】 特許願

【整理番号】 D97010911A

【提出日】 平成10年 4月21日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01B 11/30

【発明の名称】 欠陥検査方法および装置

【請求項の数】 20

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地株式会社日立製作所生産技術研究所内

    【氏名】 前田 俊二

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地株式会社日立製作所生産技術研究所内

    【氏名】 岡 健次

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地株式会社日立製作所生産技術研究所内

    【氏名】 芝田 行広

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地株式会社日立製作所生産技術研究所内

    【氏名】 ▲吉▼田 実

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地株式会社日立製作所生産技術研究所内

    【氏名】 宍戸 千絵

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地株式会社日立製作所生産技術研究所内

作所生産技術研究所内

【氏名】 高木 裕治

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【住所又は居所】 東京都千代田区神田駿河台四丁目 6 番地

【氏名又は名称】 株式会社 日立製作所

【代表者】 金井 務

【代理人】

【識別番号】 100068504

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内一丁目 5 番 1 号株式会社 日立製作所内

【弁理士】

【氏名又は名称】 小川 勝男

【電話番号】 03-3212-1111

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013088

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9003094

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 欠陥検査方法および装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に本来同一となるように形成された複数の組のパターンの欠陥を検査する方法であって、第 1 の被検査パターンを検出して該第 1 の被検査パターンの第 1 の画像を得、該第 1 の画像を記憶し、第 2 の被検査パターンを検出して該第 2 の被検査パターンの第 2 の画像を得、前記記憶した第 1 の画像と前記第 2 の画像との明るさを合わせ、該明るさを合わせた第 1 の画像と第 2 の画像とを比較することにより前記パターンを検査することを特徴とする被検査パターンの欠陥検査方法。

【請求項 2】

前記記憶した第 1 の画像と前記第 2 の画像との明るさを合わせることを、ゲインとオフセットをもつ線形変換によって、2 つの比較する画像の明るさがほぼ同一となるように変換することを特徴とする請求項 1 記載の被検査パターンの欠陥検査方法。

【請求項 3】

前記記憶した第 1 の画像と前記第 2 の画像との明るさを合わせるときのパラメータであるゲインとオフセットは、2 つの比較する画像の明るさの 2 乗誤差が最小になるように決めることを特徴とする請求項 2 記載の被検査パターンの欠陥検査方法。

【請求項 4】

前記記憶した第 1 の画像と前記第 2 の画像との明るさを合わせるときのパラメータであるゲインとオフセットは、2 つの比較する画像において、各点の定めた周囲の複数画素を用いて、2 乗誤差が最小になるように決めることを特徴とする請求項 3 記載の被検査パターンの欠陥検査方法。

【請求項 5】

前記記憶した第 1 の画像と前記第 2 の画像との明るさを合わせるときのパラメータであるゲインとオフセットは、2 つの比較する画像において、各点の定めた

周囲の複数画素を用いて、重みづけされた 2 乗誤差が最小になるように決めることを特徴とする請求項 4 記載の被検査パターンの欠陥検査方法。

【請求項 6】

前記記憶した第 1 の画像と前記第 2 の画像との明るさを合わせることを、2 枚の画像のマッチング前或いは後に行うことを特徴とする請求項 1 ないし 5 記載の被検査パターンの欠陥検査方法。

【請求項 7】

前記パターンは、セルである繰返しパターン領域からなるマット部と非繰返しパターン領域からなる周辺回路部とを有するチップであることを特徴とする請求項 1 ないし 6 の何れかに記載の被検査パターンの欠陥検査方法。

【請求項 8】

本来同一形状となるように形成された複数個の組のパターンを有して該複数個の組のパターンの表面が平坦化加工処理された試料の前記パターンの欠陥を検査する方法であって、第 1 の被検査パターンを光学的に撮像して前記第 1 の被検査パターンの第 1 の画像信号を得、該第 1 の画像信号を記憶し、第 2 の被検査パターンを光学的に撮像して前記第 2 の被検査パターンの第 2 の画像信号を得、前記記憶した第 1 の画像信号と前記第 2 の画像信号との少なくとも何れか一方を局所的に階調変換し、該少なくとも何れか一方を局所的に階調変換した第 1 と第 2 の画像信号を比較することにより前記パターンを検査することを特徴とする被検査パターンの欠陥検査方法。

【請求項 9】

基板上に本来同一となるように形成された複数個の組のパターンの欠陥を検査する方法であって、第 1 の被検査パターンを撮像して該第 1 の被検査パターンの第 1 の画像を得、該第 1 の画像を記憶し、第 2 の被検査パターンを撮像して該第 2 の被検査パターンの第 2 の画像を得、前記記憶した第 1 の画像と前記第 2 の画像との少なくとも何れか一方の明るさを変換して前記第 1 の画像と前記第 2 の画像との明るさがほぼ同じくなるようにし、該明るさをほぼ同じくした第 1 の画像と第 2 の画像とを比較することにより前記パターンを検査し、該検査した結果をディスプレイ上に表示すると共に該検査した結果のデータを外部に出力すること

を特徴とする被検査パターンの欠陥検査方法。

【請求項 10】

前記第 1 の被検査パターン及び前記第 2 の被検査パターンを撮像することを、光学的に行うことを特徴とする請求項 9 記載の被検査パターンの欠陥検査方法。

【請求項 11】

前記第 1 の被検査パターン及び前記第 2 の被検査パターンを撮像することを、電子線を用いて行うことを特徴とする請求項 9 記載の被検査パターンの欠陥検査方法。

【請求項 12】

基板上に本来同一となるように形成された複数個の組のパターンの欠陥を検査する方法であって、第 1 の被検査パターンを検出して該第 1 の被検査パターンの第 1 の画像を得、該第 1 の画像を記憶し、第 2 の被検査パターンを検出して該第 2 の被検査パターンの第 2 の画像を得、前記記憶した第 1 の画像と前記第 2 の画像とを画素単位で位置ずれを補正し、該画素単位で位置ずれを補正した前記記憶した第 1 の画像と前記第 2 の画像とのいずれか或いは双方の明るさ変換し、該明るさを変換した第 1 の画像と第 2 の画像とを比較して該第 1 と第 2 の画像信号の不一致を欠陥として検出し、該検出した結果をディスプレイ上に表示することを特徴とする被検査パターンの欠陥検査方法。

【請求項 13】

基板上に本来同一となるように形成された複数個の組のパターンの欠陥を検査する欠陥検査装置であって、第 1 の被検査パターンを撮像して該第 1 の被検査パターンの第 1 の画像を得ると共に第 2 の被検査パターンを撮像して該第 2 の被検査パターンの第 2 の画像を得る撮像手段と、該撮像手段により撮像して得た前記第 1 の画像を記憶する記憶手段と、該記憶手段に記憶した前記第 1 の画像と前記撮像手段で撮像して得た前記第 2 の画像との少なくとも何れか一方を局所的に階調変換する階調変換手段と、該階調変換手段により少なくとも何れか一方を局所的に階調変換した第 1 の画像と第 2 の画像とを比較して前記パターンの欠陥を検出する欠陥検出手段とを備えたことを特徴とする被検査パターンの欠陥検査装置。

## 【請求項 14】

前記階調変換手段は、前記比較する第 1 と第 2 の画像信号の明るさを、ゲインとオフセットをもつ線形変換によってほぼ同一となるように変換することを特徴とする請求項 13 記載の被検査パターンの欠陥検査装置。

## 【請求項 15】

本来同一形状となるように形成された複数個の組のパターンを有して該複数個の組のパターン上に形成された光学的に透明な膜の表面が平坦化加工処理された試料の前記パターンの欠陥を検査する装置であって、第 1 の被検査パターンと第 2 の被検査パターンとをそれぞれ光学的に撮像して前記光学的に透明な膜を介した前記第 1 の被検査パターンの第 1 の画像信号と第 2 の被検査パターンの第 2 の画像信号とをそれぞれ得る撮像手段と、該撮像手段で撮像した前記第 1 の画像信号を記憶する記憶手段と、該記憶手段に記憶した第 1 の画像信号と前記撮像手段で撮像した第 2 の画像信号との少なくとも何れか一方を局所的に階調変換する階調変換手段と、該階調変換手段により少なくとも何れか一方を局所的に階調変換した前記第 1 と第 2 の画像信号を比較して前記パターンの欠陥を検出する欠陥検出手段とを備えたことを特徴とする被検査パターンの欠陥検査装置。

## 【請求項 16】

基板上に本来同一となるように形成された複数個の組のパターンの欠陥を検査する欠陥検査装置であって、第 1 の被検査パターンを撮像して該第 1 の被検査パターンの第 1 の画像を得ると共に第 2 の被検査パターンを撮像して該第 2 の被検査パターンの第 2 の画像を得る撮像手段と、該撮像手段により撮像して得た前記第 1 の画像を記憶する記憶手段と、該記憶手段に記憶した前記第 1 の画像と前記撮像手段で撮像して得た前記第 2 の画像との少なくとも何れか一方の明るさを変換する明るさ変換手段と、該明るさ変換手段により少なくとも何れか一方の明るさ変換した第 1 の画像と第 2 の画像とを比較して前記パターンの欠陥を検出する欠陥検出手段と、該欠陥検出手段で検出した前記パターンの欠陥に関する情報を画面上に表示する表示手段と、該欠陥検出手段で検出した前記パターンの欠陥に関する情報のデータを外部に出力する出力手段とを備えたことを特徴とする被検査パターンの欠陥検査装置。



【請求項 17】

前記撮像手段は、前記第 1 の被検査パターンと前記第 2 のパターンとを、光学的に撮像することを特徴とする請求項 16 記載の被検査パターンの欠陥検査装置。

【請求項 18】

前記撮像手段は、前記第 1 の被検査パターンと前記第 2 のパターンとを、電子線を用いて撮像することを特徴とする請求項 16 記載の被検査パターンの欠陥検査装置。

【請求項 19】

前記表示手段は、被検査パターンの比較すべき 2 つの検出画像の明るさや微分等の処理を施した明るさ情報を、縦軸と横軸とする散布図として表示することを特徴とする請求項 16 記載の被検査パターンの欠陥検査装置。

【請求項 20】

基板上に本来同一となるように形成された複数個の組のパターンの欠陥を検査する装置であって、第 1 の被検査パターンを撮像して該第 1 の被検査パターンの第 1 の画像を得ると共に第 2 の被検査パターンを撮像して該第 2 の被検査パターンの第 2 の画像を得る撮像手段と、該撮像手段により撮像して得た前記第 1 の画像を記憶する記憶手段と、該記憶手段に記憶した前記第 1 の画像と前記撮像手段で撮像して得た前記第 2 の画像とを画素単位で位置ずれを補正する位置ずれ補正手段と、該位置ずれ補正手段で画素単位で位置ずれを補正した前記第 1 の画像と前記第 2 の画像との少なくとも何れか一方の明るさを変換する明るさ変換手段と、該明るさ変換手段により少なくとも何れか一方の明るさ変換した第 1 の画像と第 2 の画像とを比較して該第 1 の画像と第 2 の画像との不一致を欠陥として検出する欠陥検出手段と、該欠陥検出手段で検出した欠陥に関する情報を画面上に表示する表示手段とを備えたことを特徴とする被検査パターンの欠陥検査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、被検査パターンの欠陥を検出する外観検査に係り、特に半導体ウェ

ハや液晶ディスプレイなどにおける被検査パターンの欠陥検査方法及びその装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、この種の検査装置は、特開昭55-74409号公報記載の技術の如く、被検査パターンを移動させつつ、ラインセンサ等の撮像素子により被検査パターンの画像を検出し、前記検出した画像信号と所定時間だけ遅延させた画像信号の濃淡を比較することにより、その不一致を欠陥として認識するものであった。

【0003】

また、特公平8-10463号に記載のように、比較は2枚の画像を整列させて、行うものであった。

【0004】

上記従来の欠陥の認識方法を詳しく、図15、11、12、13を参照して説明する。図15は、従来技術の被検査パターンのメモリチップにおけるメモリマット部と周辺回路部の略示説明図、図16は、図15のメモリチップにおけるメモリマット部と周辺回路部における明るさのヒストグラム、図17は、CMP（ケミカルメカニカル）などの平坦化处理された被検査パターンの略示図である。

【0005】

図15に示す如く、半導体ウエハ上にはメモリチップ20が多数配設されて形成されている。前記メモリのチップ20は、メモリマット部21と周辺回路部22に大別することができる。前記メモリマット部21は小さな繰返しパターン（セル）の集合であり、前記周辺回路部22は基本的にはランダムパターンの集合である。ただし、多くの場合、子細に見ると複数の異なるセルピッチを有する繰返しパターンの集合体とみなすことができる。

【0006】

図16には、図15のメモリマット部21および周辺回路部22における明るさの分布、すなわち、10ビット構成で最大1024階調として、メモリチップ内の明るさに対する頻度（ヒストグラム）を示したものであるが、前記メモリマット部21はパターン密度が高く一般的に暗い。一方、前記周辺回路部22はパ

ターン密度が低く一般的に明るい。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

図17に示した、CMPなどの平坦化プロセスでは、図18に示すヒストグラムでわかるように、メモリマット部21内の回路パターンは、パターンの膜厚の違いによって明るさの違いを生じさせている。同図では、配線層をデポジションした後、CMP処理により平坦化したものである。このようなパターンでは、膜厚が局所的に変動し、明るさむらが生じやすい。このようなパターンの場合、図16と図17に示すパターンの明るさを比較することになり、明るさの違いを誤検出しないようにしきい値を設定すると、きわめて欠陥検出感度を低下させてしまう。このような明るさの違いは、照明光として波長帯域の広いものを使用すれば、ある程度は相殺できるが、CMP処理されたパターンについては、明るさの変動が大きいこともあり、限界がある。このため、明るさの異なるパターンから微小な欠陥を検出することが望まれていた。

【0008】

さらに、従来は、2枚の画像の差の2乗和を計算し、これに放物面を当てはめて、画像の位置ずれを検出していた。しかし、これでは、比較する2枚の画像が一致するという保証がなく、比較する上で最適なマッチングが望まれていた。図21は、2枚の画像（後述の図6の $f(x, y)$ ）の各画素についての差の2乗和を、一方の画像を $x, y$ 方向に $\pm 1$ 画素の範囲でシフトしてもとめた実験結果である。横軸が $x$ 方向、縦軸が $y$ 方向である。図中の値は、差の2乗和である。ここでは、同一の画像（図6の $f(x, y)$ ）を用いている。即ち、差の2乗和として、 $\Sigma (f(x, y) - f(x \pm 1, y \pm 1))^2$ を算出している。図21からわかるように、同一の画像でも差の2乗和は、 $(0, 0)$ を中心に対称ではなく、0.6%程度の非対称性がある。同一の画像であるため、 $(0, 0)$ で差の2乗和は0になっている。従って、このデータに放物線を当てはめ画素寸法以下の分解能で差の2乗和が最小になる位置を求めても、正確な位置のずれ、ここでは $(0, 0)$ は検出できない。

## 【0009】

さらに、CMPなどの平坦化プロセスのウエハでは明るさが異なる。この明るさの違いの影響を示す。ここでは、1枚の画像と、その明るさを1.1倍したものを使用した。1.1倍というのは、CMPウエハ明るさ変動としては普通か或いは小さいものである。実験結果を図22に示す。差の絶対値の和を表示している。最小位置は、(0, 1)となっている。画素以下の分解能どころか画素のレベルで大きな誤差がある。差の2乗和も同じ傾向であるが、これらのデータから、画像の位置ずれは正確に求められないことがわかる。勿論、1.05倍でも同様の傾向にある。このように、差の2乗和に放物面を当てはめ、これから最小となる位置を求めることは、極めて大きな誤差をもつ方法と言わざるを得ない。

## 【0010】

本発明の目的は、上記従来の技術課題を解決すべくなされたもので、明るさの異なるパターンも比較検査可能にし、つねに高感度で、欠陥を信頼性高く検査することができる被検査パターンの欠陥検査方法を提供することにある。

## 【0011】

また、本発明の他の目的は、高精度な画像マッチング法を用いた被検査パターンの欠陥検査方法を提供することにある。

## 【0012】

さらに、CMPなどの平坦化処理されたウエハパターンを対象にした場合にも、高感度な欠陥検出方法を提供することにある。

## 【0013】

## 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明では、基板上に本来同一となるように形成された複数個の組のパターンの欠陥を検査する方法において、第1の被検査パターンを検出してこの第1の被検査パターンの第1の画像を得、この第1の画像を記憶し、第2の被検査パターンを検出してこの第2の被検査パターンの第2の画像を得、記憶した第1の画像と第2の画像との明るさを合わせ、この明るさを合わせた第1の画像と第2の画像とを比較することによりパターンを検査するようにした。

【0014】

そして、記憶した第1の画像と第2の画像との明るさを合わせることを、ゲインとオフセットをもつ線形変換によって、2つの比較する画像信号の明るさがほぼ同一となるように変換するようにした。

【0015】

また、記憶した第1の画像と第2の画像との明るさを合わせる時のパラメータであるゲインとオフセットは、2つの比較する画像の明るさの2乗誤差が最小になるように決めるようにした。

【0016】

さらに、記憶した第1の画像と第2の画像との明るさを合わせる時のパラメータであるゲインとオフセットは、2つの比較する画像において、各点の定めた周囲の複数画素を用いて、2乗誤差が最小になるように決めるようにした。

【0017】

また、記憶した第1の画像と第2の画像との明るさを合わせる時のパラメータであるゲインとオフセットは、2つの比較する画像において、各点の定めた周囲の複数画素を用いて、重みづけされた2乗誤差が最小になるように決めるようにした。

【0018】

そして、これらの記憶した第1の画像と第2の画像との明るさを合わせることを、2枚の画像のマッチング前或いは後に行うようにした。

【0019】

また、検査するパターンは、セルである繰返しパターン領域からなるマット部と非繰返しパターン領域からなる周辺回路部とを有するチップである。

【0020】

また、本発明は、本来同一形状となるように形成された複数個の組のパターンを有してこの複数個の組のパターンの表面が平坦化加工処理された試料のパターンの欠陥を検査する方法において、第1の被検査パターンを光学的に撮像して第1の被検査パターンの第1の画像信号を得、この第1の画像信号を記憶し、第2の被検査パターンを光学的に撮像して第2の被検査パターンの第2の画像信号を

得、記憶した第1の画像信号と第2の画像信号との少なくとも何れか一方を局所的に階調変換し、この少なくとも何れか一方を局所的に階調変換した第1と第2の画像信号を比較することによりパターンを検査する方法とした。

【0021】

また、本発明は、基板上に本来同一となるように形成された複数個の組のパターンの欠陥を検査する方法において、第1の被検査パターンを撮像してこの第1の被検査パターンの第1の画像を得、この第1の画像を記憶し、第2の被検査パターンを撮像してこの第2の被検査パターンの第2の画像を得、記憶した第1の画像と第2の画像との少なくとも何れか一方の明るさを変えて第1の画像と第2の画像との明るさがほぼ同じくなるようにし、この明るさをほぼ同じくした第1と第2の画像信号を比較することによりパターンを検査し、この検査した結果をディスプレイ上に表示すると共に検査した結果のデータを外部に出力するようにした。

【0022】

そして、第1の被検査パターン及び第2の被検査パターンを撮像することを、光学的に行うようにした。

【0023】

また、第1の被検査パターン及び第2の被検査パターンを撮像することを、電子線を用いて行うようにもした。

【0024】

また、本発明は、基板上に本来同一となるように形成された複数個の組のパターンの欠陥を検査する方法において、第1の被検査パターンを検出してこの第1の被検査パターンの第1の画像を得、この第1の画像を記憶し、第2の被検査パターンを検出してこの第2の被検査パターンの第2の画像を得、記憶した第1の画像と第2の画像とを画素単位で位置ずれを補正し、この画素単位で位置ずれを補正した記憶した第1の画像と第2の画像とのいずれか或いは双方の明るさ変換し、この明るさを変換した第1の画像と第2の画像とを比較してこの第1の画像と第2の画像との不一致を欠陥として検出し、この検出した結果をディスプレイ上に表示するようにした。

## 【0025】

更に、本発明は、基板上に本来同一となるように形成された複数個の組のパターンの欠陥を検査する欠陥検査装置において、第1の被検査パターンを撮像してこの第1の被検査パターンの第1の画像信号を得ると共に第2の被検査パターンを撮像してこの第2の被検査パターンの第2の画像信号を得る撮像手段と、この撮像手段により撮像して得た第1の画像信号を記憶する記憶手段と、この記憶手段に記憶した第1の画像信号と撮像手段で撮像して得た第2の画像信号との少なくとも何れか一方を局所的に階調変換する階調変換手段と、この階調変換手段により少なくとも何れか一方を局所的に階調変換した第1と第2の画像信号を比較してパターンの欠陥を検出する欠陥検出手段とを備えて構成した。

## 【0026】

そして、階調変換手段は、比較する第1と第2の画像信号の明るさを、ゲインとオフセットをもつ線形変換によってほぼ同一となるように変換するように構成した。

## 【0027】

更に、本発明は、本来同一形状となるように形成された複数個の組のパターンを有して該複数個の組のパターン上に形成された光学的に透明な膜の表面が平坦化加工処理された試料の前記パターンの欠陥を検査する装置において、第1の被検査パターンと第2の被検査パターンとをそれぞれ光学的に撮像して光学的に透明な膜を介した第1の被検査パターンの第1の画像信号と第2の被検査パターンの第2の画像信号とをそれぞれ得る撮像手段と、この撮像手段で撮像した第1の画像信号を記憶する記憶手段と、この記憶手段に記憶した第1の画像信号と撮像手段で撮像した第2の画像信号との少なくとも何れか一方を局所的に階調変換する階調変換手段と、この階調変換手段により少なくとも何れか一方を局所的に階調変換した第1と第2の画像信号を比較してパターンの欠陥を検出する欠陥検出手段とを備えて構成した。

## 【0028】

また、本発明は、基板上に本来同一となるように形成された複数個の組のパターンの欠陥を検査する欠陥検査装置において、第1の被検査パターンを撮像して

この第1の被検査パターンの第1の画像信号を得ると共に第2の被検査パターンを撮像してこの第2の被検査パターンの第2の画像信号を得る撮像手段と、この撮像手段により撮像して得た第1の画像信号を記憶する記憶手段と、この記憶手段に記憶した第1の画像信号と撮像手段で撮像して得た第2の画像信号との少なくとも何れか一方を局所的に階調変換する階調変換手段と、この階調変換手段により少なくとも何れか一方を局所的に階調変換した第1と第2の画像信号を比較してパターンの欠陥を検出する欠陥検出手段と、この欠陥検出手段で検出したパターンの欠陥に関する情報を画面上に表示する表示手段と、この欠陥検出手段で検出した前記パターンの欠陥に関する情報のデータを外部に出力する出力手段とを備えて構成した。

## 【0029】

そして、撮像手段は、第1の被検査パターンと第2のパターンとを、光学的に撮像するようにした。

## 【0030】

また、撮像手段は、第1の被検査パターンと第2のパターンとを、電子線を用いて撮像するようにした。

## 【0031】

更に、表示手段は、被検査パターンの比較すべき2つの検出画像信号の明るさや微分等の処理を施した明るさ情報を、縦軸と横軸とする散布図として表示するようにした。

## 【0032】

また、本発明は、基板上に本来同一となるように形成された複数個の組のパターンの欠陥を検査する装置において、第1の被検査パターンを撮像して第1の被検査パターンの第1の画像を得ると共に第2の被検査パターンを撮像して第2の被検査パターンの第2の画像を得る撮像手段と、この撮像手段により撮像して得た第1の画像を記憶する記憶手段と、この記憶手段に記憶した第1の画像と撮像手段で撮像して得た第2の画像とを画素単位で位置ずれを補正する位置ずれ補正手段と、この位置ずれ補正手段で画素単位で位置ずれを補正した第1の画像と第2の画像との少なくとも何れか一方の明るさを変換する明るさ変換手段と、この



明るさ変換手段により少なくとも何れか一方の明るさ変換した第1の画像と第2の画像とを比較して第1の画像と第2の画像との不一致を欠陥として検出する欠陥検出手段と、この欠陥検出手段で検出した欠陥に関する情報を画面上に表示する表示手段とを備えて構成した。

【0033】

【発明の実施の形態】

図1ないし図14、および図23ないし図30を参照して本発明の各実施の形態を説明する。

【0034】

〔実施の形態 1〕

本発明に係わる被検査パターンの欠陥検査方法、装置を説明する。図1及び図2は、本発明の一実施例に係わる被検査パターンの欠陥検査装置の構成図である。

【0035】

本実施の形態においては、半導体ウエハの被検査パターンを例として説明する。

【0036】

図1及び図2において、1はイメージセンサであり、被検査パターンである半導体ウエハ4からの反射光の明るさ、すなわち濃淡に応じた濃淡画像信号を出力するものであり、2はイメージセンサ1から得られる濃淡画像信号をデジタル画像信号9に変換するA/D変換器、3は濃淡画像信号を遅延させる遅延メモリ、4は被検査パターンのある半導体ウエハ、5は被検査パターンの半導体ウエハ4を載置するX方向とY方向とZ方向とθ方向（回転）の移動するステージ、6は半導体ウエハ4に対する対物レンズ、7は被検査パターンの半導体ウエハ4を照明する照明光源、8は照明光を反射して対物レンズ6を通して半導体ウエハ4に照射すると共に、半導体ウエハ4からの反射光を透過するハーフミラー、9は濃淡画像信号がA/D変換器で変換されたデジタル画像信号である。このようにして、照明光源7からの照明光を反射させて対物レンズ6を通して半導体ウエハ4に対して、例えば明視野照明を施すように構成している。

【0037】

また、3は、画像信号9を繰り返される1セルまたは複数セルピッチ分を記憶して遅延させる遅延メモリであってもよいし、画像信号9を繰り返される1チップまたは複数チップピッチ分記憶して遅延させる遅延メモリでもよい。

【0038】

11はデジタル画像信号9及び遅延されたデジタル画像信号10を位置合わせするものであり、ここでは、画素単位で濃淡差が最小となる位置ずれ量を検出し、この位置ずれ量に基づき一方の画像をシフトして、2枚の画像を位置合わせするものである。ここで、画像はイメージセンサにより連続的に検出されるが、画像を例えば256ラインごとに分割し（このライン数は、後述する方法により決定される）、この単位で位置合わせを行う。12は、明るさの異なる画像信号を、明るさを一致させるべく、双方の画像信号を変換する明るさ変換部である。ここでは、画像全体に一括したフィルタ操作を実施して、明るさを一致させている。

【0039】

13は、明るさの異なる画像信号を、明るさを一致させるべく、双方の画像信号の階調を変換する階調変換部である。ここでは、個々の画素毎にゲインとオフセットにより線形変換を実施して、明るさを一致させている。そして、得られた画像信号を比較部14において比較し、不一致を欠陥として検出するものである。

【0040】

検出された画像信号は、パイプライン型の画像処理により、順次一定の処理が施され、最後に欠陥とその特徴が出力されるものである。

【0041】

なお、上記例では照明として、明視野照明を採用したが、これに限るものでなく、暗視野照明、輪帯照明などの顕微鏡照明として使用できるものならば、差し支えない。また、電子線による照明でも適用できることは言うまでもない。

【0042】

これらの照明条件を種々変えて、複数回検査し、これら複数回の検査結果の論

理和を取って最終結果としても差し支えない。或いは、論理積をとって確実に欠陥として識別し、例えばこの欠陥分布や個数によってプロセス診断してもよい。この場合、不一致部の目視確認を行うレビューは不要として作業の簡素化、簡易化を図ることもできる。

#### 【0043】

次に上記構成の検査装置の動作について図1～5を参照して説明する。図1と図2では、処理順序を変えてある。

#### 【0044】

図1及び図2において、対物レンズ6で収束させた照明光で、ステージ5をX方向に走査して被検査パターンの半導体ウエハ4の対象領域について等速度で移動させつつ、イメージセンサ1により前記半導体ウエハ4上に形成された被検査パターン、すなわちチップ20内のメモリマツト部21および周辺回路部22の明るさ情報（濃淡画像信号）を検出する。

#### 【0045】

1列分の移動が終わると、隣の列にY方向に高速移動し、位置決めする。すなわち、等速移動と高速移動を繰り返して検査を行うものである。もちろん、ステップ&リピート型の検査でも差し支えない。そして、A/D変換器2は、イメージセンサ1の出力（濃淡画像信号）をデジタル画像信号9に変換する。このデジタル画像信号9は10ビット構成である。勿論、6ビット程度あれば、画像処理の上では特に問題ないが、微小欠陥を検出するにはある程度のビット数が必要である。

#### 【0046】

まず、画素単位の画像位置合わせについて説明する。画素単位の画像位置合わせは、比較する二枚の画像の一方を画素の単位でずらしながら濃淡差（画像の各画素の値と対応画素の値の差）を演算し、濃淡差が最小となる位置ずれ量を求めるものである。画像の位置ずれ検出の範囲は、例えば最大±3画素とし、またパターンの設計ルールに応じて可変とする。得られた位置ずれ量だけ片方の画像位置をずらせることにより、二枚の画像の位置合わせを行なうものである。

【0047】

下記を用いて説明する。

【0048】

【数1】

$$S(\Delta x, \Delta y) = \sum |f(x, y) - g(x - \Delta x, y - \Delta y)| \quad \dots (数1)$$

【0049】

位置ずれ検出は、上記の  $S(\Delta x, \Delta y)$  を  $\min$  とする  $\Delta x$ 、 $\Delta y$  を検出するものである。

【0050】

ただし、最小となる位置は画素単位でしか求められないため、真の位置が求めた  $\Delta x$ 、 $\Delta y$  のどちらの近くにあるかにより、オフセットとして加える。

【0051】

下記の式に基づき、 $\Delta x$ 、 $\Delta y$  に 1 を加えたりもしくは、そのままにする。

【0052】

すなわち、

【0053】

【数2】

$$S(1, 0) + S(1, -1) + S(0, -1) \text{ が最小ならば } \Delta x++ \quad \dots (数2)$$

【0054】

【数3】

$$S(-1, 0) + S(-1, -1) + S(0, -1) \text{ が最小ならば, そのまま } \quad \dots (数3)$$

【0055】

【数4】

$S(-1, 0) + S(-1, -1) + S(0, 1)$  が最小ならば、 $\Delta y++$  …(数4)

【0056】

【数5】

$S(-1, 0) + S(1, 1) + S(0, 1)$  が最小ならば、 $\Delta x++$ ,  $\Delta y++$  …(数5)

【0057】

なお、 $\Delta x++$ は、 $\Delta x = \Delta x + 1$ の意である。

【0058】

このように位置合わせにより、つねに得られた位置ずれ量だけ片方の画像の位置をずらせることにより、二枚の画像の位置合わせが行なわれる。すなわち、画像  $f$  を常に右上移動して、新たな画像  $f'$  を求めることになり、移動方向を4種類(右下移動、左上移動、左下移動、右上移動)から1種類に特定することができる。これはハードウェアの簡単化につながるものである。

【0059】

図3は、明るさ一致フィルタ操作部12を詳しく示したものである。画素単位で位置合わせされた2枚の画像  $f(x, y)$  と  $g(x, y)$  に関して、まず画像内で下記値を最小にするフィルタ  $F$ 、 $F'$  を求める。

【0060】

【数6】

$\Sigma (F * f(x, y) - F' * g(x, y))^2$  …(数6)

【0061】

フィルタ  $F$ 、 $F'$  は、例えば  $2 \times 2$  画素のサイズをもつものである。

【0062】

図5にフィルタの1例を示す。フィルタFとF'は、同図に示すように対称形であり、双対である。このような双対形にすると、フィルタのパラメータの係数を、最小二乗法を用いて、解くことができる。

【0063】

【数7】

$$\alpha = \frac{[(\sum \sum C0*Cy) * (\sum \sum Cx*Cy) - (\sum \sum C0*Cx) * (\sum \sum Cy*Cy)]}{[(\sum \sum Cx*Cx) * (\sum \sum Cy*Cy) - (\sum \sum Cx*Cy) * (\sum \sum Cx*Cy)]} \quad \dots(数7)$$

【0064】

【数8】

$$\beta = \frac{[(\sum \sum C0*Cx) * (\sum \sum Cx*Cy) - (\sum \sum C0*Cy) * (\sum \sum Cx*Cx)]}{[(\sum \sum Cx*Cx) * (\sum \sum Cy*Cy) - (\sum \sum Cx*Cy) * (\sum \sum Cx*Cy)]} \quad \dots(数8)$$

【0065】

ただし、

【0066】

【数9】

$$C0 = f(x, y) - g(x, y) \quad \dots(数9)$$

【0067】

【数10】

$$Cx = |f(x+1, y) - f(x, y)| - |g(x-1, y) - g(x, y)| \quad \dots(数10)$$

【0068】

【数 11】

$$Cy = |f(x, y+1) - f(x, y)| - |g(x, y-1) - g(x, y)|$$

…(数11)

【0069】

本方式は、対象である二枚の画像にフィルタリングを施し、その濃淡の二乗誤差を最小にして一致させるものである。繰返し演算などが不要であり、一回の演算で実現可能なものである。

【0070】

上記方式の特徴は、二枚の画像の濃淡が、二乗の誤差最小の意味でよく一致するようにフィルタ係数  $\alpha$ 、 $\beta$  を求めるものである。特に、これらのパラメータは必ずしも画像の位置ずれ量の真値を表しているわけではない。例えば、従来技術において述べたように、 $S(\Delta x, \Delta y)$  に放物面を当てはめ、その最小位置を算出し、次にこの算出位置に基づいて、内挿して補間画素を求める方式も考えられるが、この場合は明るさに関して、なんら満たすべき規範とか条件はなく、その意味で、得られる画像を比較検査に使うことは、保証されたものでない。さらに、明るさが異なる場合は、算出した位置ずれは何を表しているか不明である。その上、たとえ放物面近似して算出した最小位置が、本実施例で述べた方式と位置が一致しても、得られる比較すべき画像は一致するものではない。

【0071】

提案したマッチング方式は、2枚の画像の明るさの2乗誤差が最小になることを保証するものであり、この点で他の方式と一線をかくすものである。図14に示すように、線形近似であるため、フィルタの係数である  $\alpha$  は、位置ずれとみなすと、誤差をもつ。しかし、得られた明るさは一致している。本方式は、画像間の濃淡の違いを本質的に小さくでき、比較検査において極めて都合のよい方式であると考えられる。

【0072】

さらに、フィルタ係数  $\alpha$ 、 $\beta$  の算出は、繰返し演算することなく解析的に行う

ことができ、ハードウェア化するのに適しているという特長がある。

図4は、局所的な階調変換部13を詳しく示したものである。画素単位で位置合わせされ、明るさ一致フィルタ操作出力の2枚の画像  $f(x, y)$  と  $g(x, y)$  に関して、まず画像内の定めたエリア内で下記の値を最小にするパラメータ  $a$ 、 $b$  ( $a$ : ゲイン、 $b$ : オフセットに相当) を求める。

【0073】

【数12】

$$\sum (f(x, y) - a * g(x, y) - b)^2 \quad \cdots (数12)$$

【0074】

パラメータ  $a$ 、 $b$  は、上記した値を  $a$ 、 $b$  で偏微分し、零とおくことによって求められる。例えば、定めたエリアとは、各点の周囲の7の範囲である。

【0075】

求められたパラメータを用いて画像信号の片方  $g(x, y)$  を

【0076】

【数13】

$$a * g(x, y) + b \quad \cdots (数13)$$

【0077】

と変換する。これにより明るさが一致した画像が得られる。パラメータ  $a$ 、 $b$  は、位置  $(x, y)$  ごとに異なる値を取りうる。

【0078】

【数14】

$$a = (\sum (f(x,y)g(x,y)) - \sum f(x,y) \sum g(x,y)/MN) / (\sum g(x,y)g(x,y) - \sum g(x,y) \sum g(x,y)/MN) \quad \cdots (数14)$$



【0079】

【数15】

$$b = (\sum f(x,y) - a \sum g(x,y)) / MN \quad \cdots (数15)$$

【0080】

ここで、 $\Sigma$ の範囲の画素数をMNとしている。

【0081】

さらに、 $\Sigma$ の範囲において、着目した中央画素と周囲画素の明るさを比較し、明るさが大きく異なるときは、これを加算しないこともよい方法である。

【0082】

或いは、加算自体はするのであるが、加算するとき、重みを付けて、寄与率を下げる事が有効である。例えば、 $(x, y)$ の着目画素の明るさを $c$ とし、 $\Sigma$ の範囲内の別の画素の明るさを $d$ とすると、重み $W(x, y)$ を

【0083】

【数16】

$$W(x, y) = \max[1 - (c - d)^2 / (D * D), 0] \quad \cdots (数16)$$

【0084】

とする。ここで、 $\max[]$ は最大値検出、 $c$ 、 $d$ はいずれも8ビット階調の明るさである。また、 $D$ は定数とする。これにより、着目した中央画素と周囲画素の明るさが似ているときは、重みを1近くの値にし、似ていないときは、小さい値とするものである。 $D$ は定数としたが、明るさに応じて可変してもよく、 $D = \text{func}(c)$ である。さらには、同じパターンに属するか否かで判断し、異なるパターンの平均明るさを $\mu$ とすると、 $D = |c - \mu|$ として与えてもよい。パターンの種類が3つ以上ある場合には、似ているパターン間の明るさの違いを $D$ とすればよい。勿論、このような形態にこだわる必要は必ずしもなく、重みを適切に与えられるものならばよい。

【0085】

図6に検出した2枚の画像の例を示す。検出した2枚の画像には、図示したよ

うな明るさに大きな違いがある。この2枚の画像を、画素単位の精度で位置合わせを行い、明るさ一致フィルタ操作をした。しかしながら、本画像では明るさの違いが大きすぎて、同図に示すように、差画像において、大きな不一致が生じている。このような画像に対し、階調変換処理を実施した。

## 【0086】

図7～9に処理例を示す。図7～9において、検出した2枚の画像  $f(x, y)$ 、 $g(x, y)$ 、及び明るさヒストグラムを示す。また、変換後の画像  $a * g(x, y) + b$ 、及び明るさヒストグラムを示す。ここでは、 $D = 70$ とした。図7に示すヒストグラムからわかるように、 $D$ の値は双峰性のヒストグラム分布の各分布平均の差に相当する値になっている。即ち、このような $D$ が設定された重み $W$ は、同じ分布に属するかどうかの指標になっている。なお、定めたエリアは、各点の周囲の $7 \times 7$ 画素の範囲である。図7～9から、変換によって明るさヒストグラムがほぼ等しくなることがわかる。ここで、図7～9の画像を対象にした実験結果では、画像内のある点で  $a = 1.41$ 、 $b = 0$  が得られた。この画像では、明るさのゲインが大きく（41%）異なることがわかる。

## 【0087】

この例から、オフセット  $b$  を常に0と設定し、ゲインだけを可変にする方式も考えられる。これらは、対象とするパターンの特性や装置構成等により、決定すればよい。

## 【0088】

図10及び図11は、このような変換により得られた画像の差を示したものである。図10及び図11において、最初の3つは、定めたエリアを、各点の周囲の $3 \times 3$ 、 $5 \times 5$ 、 $7 \times 7$ 画素の範囲としたものである。また、この時の重みは、 $W(x, y) = 1$ とした。さらに、最後の1つは、 $7 \times 7$ 画素の範囲について、重みを上記した $W(x, y)$ に従うとしたものを示した。これらの図より、エリアが小さい場合は、明るさを局所的に合わせ込み、画像間の不一致が小さくなることがわかる。これでは、明るさの許容範囲は広がるが、微小な欠陥を見逃してしまう。このため、エリアを検出すべき欠陥に応じて広げる必要がある。しかし、重みが1に固定されている場合、パターン領域の境界部が不一致として、即

ち虚報として検出されてしまう。重み付けした場合は、境界の影響が低減され、ほぼ2枚の画像の明るさが一致し、微小な欠陥も検出できることになる。

【0089】

なお、7×7画素などのエリアは、必ずしも正方形である必要性はなく、長方形や多角形、或いは円でもよい。また、このような極微小な領域でなく、数100×数100画素といった領域にしてもよく、要は明るさの変動が吸収可能な範囲であればよい。

【0090】

重み付けの方法は、この他にも、着目した中央画素と周囲画素の明るさを比較し、明るさの差がしきい値より大きいときは、重みを0とすることもできる。

【0091】

以上述べた以外に、下記の階調変換も考えられる。

【0092】

【数17】

$$W(x, y) (\sigma_f / \sigma_g) (g(x, y) - m_g) + m_f \quad \text{---(数17)}$$

【0093】

ここで、 $\sigma f$ 、 $m f$ は、それぞれ画像 $f(x, y)$ において、点 $(x, y)$ 近傍の定めたエリア内の標準偏差、平均値であり、 $\sigma g$ 、 $m g$ は、それぞれ画像 $g(x, y)$ において、点 $(x, y)$ 近傍の定めたエリア内の標準偏差、平均値である。

上記した変換により、画像 $g(x, y)$ の明るさを $f(x, y)$ に一致させることができる。

【0094】

$W(x, y)$ は、上記した重みでもよいし、画像 $f(x, y)$ と $g(x, y)$ の定めたエリア内の画像データの相関係数でもよい。

【0095】

この方式も、結果として2つの画像のヒストグラムが一致するという特長がある。

【0096】

いずれの方式も、ゲインとオフセットからなる線形変換の形になっている。

【0097】

以上のべた階調変換は、着目画素近傍の局所的な明るさ変換である。勿論、目的や画像の特性に従って、画像全体、即ちここでは256ライン全体に適用しても構わないものである。また、2枚の画像のどちらに、一方の画像の明るさを一致させるかは、例えば、画像毎に明るさ平均値を算出し、明るい方に合わせることができる。また、定めたエリア毎、或いは各点毎に、明るさ平均値を算出し、明るい方に合わせることにもできる。

【0098】

なお、図1では、画像明るさ一致フィルタ操作の後に、階調変換を実施しているが、この順序は、図2に示すように入れ替えてよい。

【0099】

次に、比較器14は、本発明者らが開発した方式、特開昭61-212708号公報記載の技術に示したもの等で差し支えなく、画像の差画像検出回路、差画像を定めたしきい値で2値化する不一致検出回路、2値化された出力より面積や長さ（投影長）、座標などを算出する特徴抽出回路から構成される。

【0100】

図12及び図13を用いて、さらに本発明にかかる2値化の際のしきい値設定について説明する。

【0101】

上記したように、差画像を2値化する際、領域の境界などで、虚報が発生しやすい。そこで、図12に示すように、画像の局所領域内の最大値と最小値の差、平均値、微分値のx、yいずれか大きい方（以下、局所データ）を、各点ごとに算出する。これらの値に、別途定めたパラメータを掛け合わせ、加算する、いわゆる積和演算することにより、しきい値を生成する。これにより、例えば、領域の境界部の明るさ変化が大きいところでは、微分値等が大きくなるので、しきい値が大きくなり、虚報の発生を未然に防ぐことが可能になる。勿論、最大値と最小値の差、平均値、微分値のx、yいずれか大きい方は、3つとも備える必要は

なく、いずれかひとつでもよい。例えば、上記した階調変換を実施した場合は、平均値を算出する必要性はない。

【0102】

このようなしきい値を用いて、画像の差を2値化すれば、虚報の問題をより効果的に低減できる。なお、上記局所データは、後述する散布図により分布を求めることにより、その大小の決定支援が可能である。図31～33には、画像の局所領域内の最大値と最小値の差に関する散布図を示している。この分布データに線分を当てはめ、線分からの誤差を求める。このような処理を各局所データに行い、その積和によってしきい値を決めることが可能である。

【0103】

たとえば、しきい値Thとして

$$Th = C3 \times \text{局所コントラスト} + C2 \times \text{明るさ平均}$$

を選ぶと考える。ここで、局所コントラスト画像を、各画素に関して3×3画素の最大値－最小値

で定義し、明るさ平均画像を、各画素に関して3×3画素の移動平均であらわす

【0104】

比較する2枚の画像の局所コントラスト画像をf(x, y)、g(x, y)とし、

【0105】

【数18】

$$V_e = \frac{1}{(2dx+1) \cdot (2dy+1) - 2} \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (g(x, y) - (m \cdot f(x, y) + n))^2 \quad \text{〔数18〕}$$

【0106】

上式より求められるVeをσkとする。

【0107】

同様に、明るさの平均画像をf(x, y)、g(x, y)とし、求められるVeをσaとする。

【0108】

これらより、下式の（数19）が決まる。

【0109】

【数19】

$$\sigma_g = C3 \times \sigma_k + C2 \times \sigma_a \quad \cdots (数19)$$

【0110】

同様のことを、画像を変えて行い、係数のC2、C3が求められる。

【0111】

上記したThを選ぶと考えると、局所コントラストの散布図において、傾き1（ $m=1$ ）、切片0（ $n=0$ ）の直線から各プロットデータ点までの距離であり、誤差に相当する標準偏差 $\sigma_k$ を求める。同様に、明るさ平均の散布図において、傾き1、切片0の直線から各プロットデータ点までの距離であり、誤差に相当する標準偏差 $\sigma_a$ を求める。また、もとの2枚の画像の明るさの散布図において、傾き1、切片0の直線から各プロットデータ点までの距離であり、誤差に相当する標準偏差 $\sigma_g$ を求める。

【0112】

これらの値を上記Thの式に代入すると、（数19）のような、C2とC3の式が得られる。この操作を異なる場所の画像について行くと、係数が異なる別のC2とC3に関する式が得られる。従って、これらを連立方程式として解くと、C2、C3という係数が一意に決まる。これより、C2、C3からしきい値Thが決められる。もちろん、しきい値Thは、

$$Th = C3 \times \text{局所コントラスト} + C2 \times \text{明るさ平均} + \text{オフセット}$$

としてもよい。

【0113】

更に、別の設定方式として、求めるべき浮動しきい値を、明るさの局所的なコントラストや平均値の線形結合として（数20）で表し、比較する2枚の画像の散布図情報を用いて重回帰分析によりパラメータを算出してもよい。

【0114】

【数20】

$$Th = C0 + C1 \times \sqrt{f-g} + C2 \times \sqrt{f} + C3 \times |f| + C4 \times |f| \quad \cdots (数20)$$

【0115】

この時の設定の手順を以下に示す。

【0116】

(1) 複数点の画像（2チップー組）を検出する。

【0117】

(2) 検出画像、参照画像のデータから明るさの散布図を作成する。（欠陥を含まない画像を対象とするか、または、欠陥部を除いた画像を用いる。）

(3) 散布図におけるデータの集合を包絡する点を求めて（評価では、頻度1の点を抽出する）、その点に対応する画像の画素から、局所的コントラストや平均値のデータを抽出する。

【0118】

(4) 上記（3）で求めた情報をもとに重回帰分析によりパラメータC0～C4を調整する。

【0119】

(5) p値（有意水準）に応じて用いるデータの選択を行う（p値が十分信頼の持てる値（0.05以下）となる組み合わせを求める）。

【0120】

(6) 求めたパラメータC0～C4から、しきい値画像を算出して差画像と比較を行う。

【0121】

(7) 虚報があれば虚報の情報の加えて、パラメータC0～C4を調整する。

【0122】

(8) テスト検査を行う。

【0123】

(9) 虚報が発生したら、上記（7）と（8）とを繰り返す。

## 【0124】

また、図13に示すように、上記したように係数と誤差の積和演算ではなく、ルックアップテーブル（LUT）を用いても構成可能である。図12及び図13に示すように、画像の局所最大値と局所最小値を求め、その差よりコントラストを求め、これをLUTに入力する。同様に、画像の局所平均値を求め、LUTに入力する。これらのLUT出力を別のLUTに入力し、しきい値を求める。LUTの規模を適切なものとするため、図12及び図13では使用するビット数を8→6ビットに制限している。求めたしきい値は、比較回路（図1及び図2）14に入力し、2値化のしきい値として使用する。LUTの中身のデータは、種々の画像を用いて、上記した手順と同様の手順で、誤差等を求め、これを補間等してデータを埋めて作成する。

## 【0125】

選ぶ画像は、誤検出しやすい場所が適していることは言うまでもないが、従来はこのような決め方がなく、本発明により決め方の手順が決まっただけでなく、きわめて論理的に決められるということが特徴である。

## 【0126】

図1及び図2において、設計情報に基づいて得られる半導体ウエハ4上におけるチップ内の配列データ等の座標を、キーボード、ディスク等から構成された入力手段15で入力しておくことにより、CPU16は、入力された半導体ウエハ4上におけるチップ内の配列データ等の座標に基づいて、欠陥検査データを作成して記憶装置17に格納する。

## 【0127】

この欠陥検査データは、必要に応じてディスプレイ等の表示手段に表示することもできるし、また出力手段により出力することもできる。

## 【0128】

また、このディスプレイ上に、階調変換する前の画像または画像データと階調変換後の画像または画像データとをそれぞれ表示することにより、または、階調変換後の画像または画像データを表示することにより、階調変換が正しくなされて検査が行われていることを、作業者が目視で確認することができる。



## 【0129】

これらにより、きわめて高精度に画像を比較することができ、本発明で意図した目的がより高感度に実現できることになる。

なお、本実施例では明視野照明も用いた例を示したが、暗視野照明により得られた画像を対象にしてもよい。また欠陥の種類もショートやオープンなどの形状不良や、それ以外の異物も対象となる。

## 【0130】

## 〔実施の形態 2〕

本発明に係るパターン検査方法および装置の第2の実施の形態を図19に示す。ここでは、電子線により試料を走査して、電子線の照射によってウエハから発生する電子を検知し、その強度変化に基づいて走査部位の電子線像を得、電子線像を用いてパターン検査を行う。前述の発明が解決しようとする課題に対して、本第2の実施の形態では、欠陥判定のしきい値を、パターンの位置ずれ、階調値の差異などを考慮して画素ごとに設定することで対処する。

## 【0131】

本システムは、検出部101、画像取り出し部102、画像処理部103、システム全体を制御する全体制御部104からなる。

## 【0132】

始めに、検出部101について述べる。

## 【0133】

図19において、電子銃31を出た電子ビームは、磁界レンズ32、対物レンズ33を経て、試料面では画素サイズ程度のビーム径に絞られる。この際、グラウンド電極37、リターディング電極38によって、試料に負電位を引加し、対物レンズと試料間で電子ビームを減速することで低加速電圧領域での高分解能化を図る。電子線が照射されると、試料（ウエハ1）からは電子が発生する。偏向器34による電子線のX方向の繰り返し走査と、ステージ2による試料のY方向の連続的な移動に同期して試料から発生する電子を検出することで、試料の2次元の電子線像が得られる。試料から発生した電子は検出器35で捕らえられ、アンプ36で増幅される。ここで、高速検査を可能にするために、電子ビームをX方

向に繰り返し走査させる偏向器 34 としては、偏向速度の速い静電偏向器を用いることが、また、電子銃 31 としては、電子ビーム電流を大きくできるので照射時間が短くできる熱電界放射型電子銃を用いることが、また、検出器 35 には高速駆動が可能な半導体検出器を用いることが望ましい。

【0134】

次に、画像取り出し部 102 について述べる。

【0135】

アンプ 36 で増幅された信号は、AD変換器 39 によってデジタル信号に変換された後、前処理回路 40 において、暗レベル補正（ビーム・ブランキング期間中の特定数画素の階調値の平均を暗レベルとする）、電子ビーム電流の揺らぎ補正（ビーム電流を図示されていない対物絞りで検出し、信号をビーム電流で正規化する）、シェーディング補正（ビーム走査位置による光量変動を補正）を行った後、ガウシアンフィルタ、平均値フィルタ、あるいはエッジ強調フィルタなどによるフィルタリング処理を行って、画質を改善する。また、必要に応じて、画像の歪みの補正も行なう。これらの前処理は、後の欠陥判定処理において有利なように検出画像を変換するためのものである。

【0136】

遅延回路 41 は信号を一定時間だけ遅延させるが、遅延時間を、例えばステージ 2 がチップピッチ分移動する時間にすれば、遅延された信号 g0 と遅延されていない信号 f0 は隣り合うチップの同じ箇所での画像信号となり、前述したチップ比較検査となる。あるいは遅延時間を、ステージ 2 がメモリセルのピッチ分移動する時間にすれば、遅延された信号 g0 と遅延されていない信号 f0 は隣り合うメモリセルの同じ箇所での画像信号となり、前述したセル比較検査となるわけである。以上のようにして、画像取り出し部 102 から、比較すべき画像信号 f0 と g0 が取り出される。以下、f0 を検出画像、g0 を比較画像と呼ぶことにする。

【0137】

次に、画像処理部 103 における処理について述べる。

【0138】

画素単位的位置合わせ部 42 では、検出画像の位置を基準にした時、検出画像

と比較画像の「整合度」が最大となる位置が、0～1画素の間になるように、比較画像の位置をずらす。

【0139】

次に、明るさ一致フィルタ操作部における、画像間あかるさ不一致を最小にするフィルタ $F$ 、 $F'$ を求める。前述したように、フィルタのパラメータの係数を、最小二乗法を用いて、解いて(7)式、(8)式のように、 $dx_0$ 、 $dy_0$ を求めるには種々の統計量 $\Sigma\Sigma XX$ を求める必要がある。統計量算出部44において、それら種々の統計量の算出を行い、サブCPU45において計算された $\Sigma\Sigma XX$ を用いて、(数7)、(数8)の演算を行って $\alpha$ 、 $\beta$ を求める。

【0140】

局所階調変換回路46は、前述した $f_1$ と $g_1$ の明るさをそろえる階調変換を実施するためのものである。

【0141】

差分抽出回路49では、 $f_1$ と $g_1$ の差画像 $sub(x,y)$ を求める。式で表すと次のようになる。

【0142】

【数21】

$$sub(x,y)=g_1(x,y)-f_1(x,y) \quad \cdots(数21)$$

【0143】

しきい値演算回路48では、遅延回路46、47を経た画像信号 $f_1$ 、 $g_1$ および、 $\alpha$ 、 $\beta$ を用いて、 $sub(x,y)$ の値に応じて欠陥候補か否かを判定する二つのしきい値 $thH(x,y)$ と $thL(x,y)$ を算出する。 $thH(x,y)$ は $sub(x,y)$ の上限を規定するしきい値であり、 $thL(x,y)$ は $sub(x,y)$ の下限を規定するしきい値である。しきい値演算回路48の構成を図20に示す。演算の内容を式で表すと次のようになる。

【0144】

【数22】

$$thH(x, y) = A(x, y) + B(x, y) + C(x, y) \quad \cdots (数22)$$

【0145】

【数23】

$$thL(x, y) = A(x, y) - B(x, y) - C(x, y) \quad \cdots (数23)$$

【0146】

ただし、

【0147】

【数24】

$$\begin{aligned} A(x, y) &= |dx1(x, y) * \alpha - dx2(x, y) * (-\alpha)| + |dy1(x, y) * \beta - dy2(x, y) * (-\beta)| \\ &= |dx1(x, y) + dx2(x, y)| * \alpha + |dy1(x, y) + dy2(x, y)| * \beta \quad \cdots (数24) \end{aligned}$$

【0148】

【数25】

$$\begin{aligned} B(x, y) &= | |dx1(x, y) * \alpha - dx2(x, y) * (-\alpha) | | + | |dy1(x, y) * \beta - dy2(x, y) * (-\beta) | | \\ &= | |dx1(x, y) + dx2(x, y)| * \alpha | + | |dy1(x, y) + dy2(x, y)| * \beta | \quad \cdots (数25) \end{aligned}$$

【0149】

【数26】

$$C(x, y) = (\max1 + \max2) / 2 * \gamma + \epsilon \quad \cdots (数26)$$

【0150】

ここで、 $a$ 、 $b$ は、0～0.5の実数、 $\gamma$ は0以上の実数、 $\varepsilon$ を0以上の整数

【0151】

【数27】

$$\left. \begin{aligned}
 dx1(x,y) &= f1(x+1,y) - f1(x,y) \\
 dx2(x,y) &= g1(x,y) - g1(x-1,y) \\
 dy1(x,y) &= f1(x,y+1) - f1(x,y) \\
 dy2(x,y) &= g1(x,y) - g1(x,y-1) \\
 max1 &= \max \{f1(x,y), f1(x+1,y), f1(x,y+1), f(x+1,y+1)\} \\
 max2 &= \max \{g1(x,y), g1(x-1,y), g1(x,y-1), g(x-1,y-1)\}
 \end{aligned} \right\} \dots (数27)$$

【0152】

しきい値を算出する(数22)(数23)の右辺の第1項 $A(x,y)$ は、位置ずれ検出部43で求めた $\alpha$ 、 $\beta$ に対応してしきい値を補正するための項である。例えば(数27)で表される $dx1$ は、 $f1$ の階調値の $x$ 方向の局所的な変化率とみなし、 $dx1(x,y) * \alpha$ は、位置が $\alpha$ ずれた時の $f1$ の階調値の変化の予測値ということができる。よって、 $A(x,y)$ の第1項 $\{dx1(x,y) * \alpha - dx2(x,y) * (-\alpha)\}$ は、 $x$ 方向に $f1$ の位置を $\alpha$ 、 $g1$ の位置を $-\alpha$ ずらした時に、 $f1$ と $g1$ の差画像の階調値がどのくらい変化するかを画素ごとに予測した値ということができる。同様に第2項は $y$ 方向について予測した値ということができる。しきい値の第1項 $A(x,y)$ は、 $\alpha$ 、 $\beta$ をキャンセルするための項である。

【0153】

しきい値を算出する(数22)(数23)の右辺の第2項 $B(x,y)$ は、パターンエッジの微小な位置ずれやパターン形状の微小な差異、パターン歪みを許容するための項である。 $A(x,y)$ を求める(数24)と $B(x,y)$ を求める(数25)を対比させれば明らかなように、 $B(x,y)$ は $a$ 、 $b$ による、差画像の階調値の変化予測の絶対値である。 $A(x,y)$ によって既知の位置ずれ(とみなす)がキャンセルされるとするならば、 $A(x,y)$ に $B(x,y)$ を加算するのは、位置の合った状態からさらに $x$ 方向に $a$ 、 $y$ 方向に $b$ だけ位置をずらす(とみなす)ことを意味してい

る。つまり、 $x$  方向に  $a$ 、 $y$  方向に  $b$  の位置ずれを許容するのが  $B(x,y)$  である。

【0154】

また、 $A(x,y)$  から  $B(x,y)$  を減ずるのは、位置の合った状態からさらに  $x$  方向に  $-a$ 、 $y$  方向に  $-b$  だけ位置をずらすことを意味している。 $x$  方向に  $-a$ 、 $y$  方向に  $-b$  の位置ずれを許容するのが  $-B(x,y)$  である。しきい値に上限、下限を設けることによって、 $\pm a$ 、 $\pm b$  の位置ずれを許容することになるわけである。そして、パラメータ  $a$ 、 $b$  の値を適切な値に設定することによって、許容する位置ずれ量を自由にコントロールすることが可能である。

【0155】

しきい値を算出する(数22)及び(数23)の第3項  $C(x,y)$  は、階調値の微小な差異を許容するための項である。 $C(x,y)$  の加算は、 $g1$  の階調値が  $f1$  の階調値よりも  $C(x,y)$  だけ大きいのを許容することを意味し、 $C(x,y)$  の減算は、 $g1$  の階調値が  $f1$  の階調値よりも  $C(x,y)$  だけ小さいのを許容することを意味する。ここでは、 $C(x,y)$  を、局所領域での階調値の代表値(ここでは  $\max$  値)に比例定数  $\gamma$  を掛けた値と、定数  $\varepsilon$  との和としたが、この関数にこだわる必要はなく、階調値の変動の仕方が既知であれば、それに合った関数するのがよい。例えば、階調値の平方根に変動幅が比例すると分かっているならば、(数26)の代わりに、 $C(x,y) = (\max 1 + \max 2)^{1/2} * \gamma + \varepsilon$  とすべきである。 $B(x,y)$  と同様、パラメータ  $\gamma$ 、 $\varepsilon$  によって、許容する階調値の差異を自由にコントロールすることが可能である。

【0156】

欠陥判定回路50では、差分抽出回路49の出力  $\text{sub}(x,y)$  および、しきい値演算回路48の出力  $\text{thL}(x,y)$ 、 $\text{thH}(x,y)$  を用いて、

【0157】

【数28】

$$\text{thL}(x,y) \leq \text{sub}(x,y) \leq \text{thH}(x,y)$$

…(数28)

【0158】

を満たせば、位置(x,y)の画素は非欠陥候補、満たさなければ位置(x,y)の画素は欠陥候補と判定する。欠陥判定回路50は、非欠陥候補画素は0、欠陥候補画素は1以上の値を持つdef(x,y)を出力する。

【0159】

特徴抽出回路50aでは、ノイズ除去処理（例えば、def(x,y)に対して縮小・膨張の処理を行う）によってノイズ的な出力を削除したあと、近隣の欠陥候補部を一つにまとめる欠陥候補部のマージ処理を行う。その後、一まとまりごとに、重心座標、XY投影長、面積などの特徴量を算出する。

【0160】

全体制御部104では、欠陥部の座標を試料上の座標系に変換し、疑似欠陥の削除を行い、最終的に、試料上での位置と特徴量とからなる欠陥データをまとめる。

【0161】

この欠陥データは、前記下実施の形態1と同様に、ディスプレイ上に表示することもできるし、出力手段により出力することもできる。

【0162】

また、このディスプレイ上に、階調変換する前の画像または画像のデータと階調変換後の画像または画像のデータとをそれぞれ表示することにより、または、階調変換後の画像または画像のデータを表示することにより、階調変換が正しくなされて検査が行われていることを、作業者が目視で確認することができる。

【0163】

本実施の形態によれば、小領域全体としての位置ずれや、個々のパターンエッジの微小な位置ずれや、階調値の微小な差異が許容されるため、正常部を欠陥と誤認識することがなくなる。また、パラメータa a、b b、 $\gamma$ 、 $\varepsilon$ によって、位置ずれ、階調値の変動の許容量のコントロールを容易に行うことが可能となる。

【0164】

〔実施の形態 3〕

本発明に係るパターン検査方法および装置の第3の実施の形態を図23に示す

。図 23 において、図 1 及び図 2 と同様に、1 はイメージセンサであり、被検査パターンである半導体ウエハ 4 からの反射光の明るさ、すなわち濃淡に応じた濃淡画像信号を出力するものであり、2 はイメージセンサ 1 から得られる濃淡画像信号をディジタル画像信号 9 に変換する A/D 変換器、3 は濃淡画像信号を遅延させる遅延メモリ、4 は被検査パターンのある半導体ウエハ、5 は被検査パターンの半導体ウエハ 4 を載置する X 方向と Y 方向と Z 方向と  $\theta$  方向（回転）の移動するステージ、6 は半導体ウエハ 4 に対する対物レンズ、7 は被検査パターンの半導体ウエハ 4 を照明する照明光源、8 は照明光を反射して対物レンズ 6 を通して半導体ウエハ 4 に照射すると共に、半導体ウエハ 4 からの反射光を透過するハーフミラー、9 は濃淡画像信号が A/D 変換器で変換されたディジタル画像信号である。このようにして、照明光源 7 からの照明光を反射させて対物レンズ 6 を通して半導体ウエハ 4 に対して、例えば明視野照明を施すように構成している。

## 【0165】

また、3 は、画像信号 9 を繰り返される 1 セルまたは複数セルピッチ分を記憶して遅延させる遅延メモリであってもよいし、画像信号 9 を繰り返される 1 チップまたは複数チップピッチ分記憶して遅延させる遅延メモリでもよい。

## 【0166】

11 はディジタル画像信号 9 及び遅延されたディジタル画像信号 10 を位置合わせするものであり、ここでは、画素単位で濃淡差が最小となる位置ずれ量を正規化相関により検出し、この位置ずれ量に基づき一方の画像をシフトして、2 枚の画像を位置合わせするものである。なお、正規化したのは、位置合せすべき画像間の明るさの違いの影響を軽減するためである。

## 【0167】

即ち、検出画像  $f(x,y)$  に対して記憶画像  $g(x,y)$  を移動し、相関値が最大となる位置を下式により求める。



【0168】

【数29】

$$R(\Delta x, \Delta y) = \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} \frac{\{f(x, y) - \bar{f}\} \{g(x + \Delta x, y + \Delta y) - \bar{g}(\Delta x, \Delta y)\}}{\sqrt{f_{\sigma} \cdot g_{\sigma}(\Delta x, \Delta y)}} \quad \cdots (数29)$$

【0169】

【数30】

$$\bar{f} = \frac{1}{XY} \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} f(x, y) \quad \cdots (数30)$$

【0170】

【数31】

$$\bar{g}(\Delta x, \Delta y) = \frac{1}{XY} \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} g(x + \Delta x, y + \Delta y) \quad \cdots (数31)$$

【0171】

【数32】

$$f_{\sigma} = \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} \{f(x, y) - \bar{f}\}^2 \quad \cdots (数32)$$

【0172】

【数33】

$$g_{\sigma}(\Delta x, \Delta y) = \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} \{g(x+\Delta x, y+\Delta y) - \bar{g}(\Delta x, \Delta y)\}^2 \quad \cdots (数33)$$

【0173】

ここで、画像はイメージセンサにより連続的に検出されるが、画像を後述するライン単位ごとに分割し、この単位で位置合わせを行う。上式では、検出画像は  $X \times Y$  画素の寸法である。

なお、図示していないが、画像の位置ずれを求める上記した正規化相関は、すべての画像を相手にして行う必要はなく、例えば画像をイメージセンサの長手方向に  $K$  分割し、分割した各小画像 ( $X/K \times Y$  画素の大きさ) のうち、情報がある小画像について、行ってもよい。情報があるかどうかの判断は、例えば各小画像を微分し、エッジの有無を検出し、エッジが多い小画像を選ぶ。たとえば、イメージセンサがマルチタップ構成の並列出力可能なリニアイメージセンサの場合、各タップ出力画像が、小画像に相当する。この考え方は、並列出力される画像は、位置ずれが等しいということに基づいている。

【0174】

13は、明るさの異なる画像信号を、明るさを一致させるべく、双方の画像信号の階調を変換する階調変換部である。ここでは、個々の画素毎にゲインとオフセットにより線形変換を実施して、明るさを一致させている。

【0175】

【数34】

$$\sum_{x=-\Delta x}^{\Delta x} \sum_{y=-\Delta y}^{\Delta y} W(x, y, dx, dy) \cdot \{f(x, y) - a(x, y) \cdot g(x, y) - b(x, y)\}^2 \quad \cdots (数34)$$

【0176】

【数35】

$$W(x, y, dx, dy) = \max[1 - (f(x, y) - g(x + dx, y + dy))^2 / D^2, 0] \quad \cdots (数35)$$

【0177】

【数36】

$$d(x, y) = \frac{\left\{ \sum_{x=dx}^{\frac{dx}{2}} \sum_{y=dy}^{\frac{dy}{2}} (W(x, y, dx, dy) \cdot f(x, y)) - \frac{1}{\sum_{x=dx}^{\frac{dx}{2}} \sum_{y=dy}^{\frac{dy}{2}} W(x, y, dx, dy)} \cdot \sum_{x=dx}^{\frac{dx}{2}} \sum_{y=dy}^{\frac{dy}{2}} (W(x, y, dx, dy) \cdot f(x, y)) \right\}}{\left\{ \sum_{x=dx}^{\frac{dx}{2}} \sum_{y=dy}^{\frac{dy}{2}} (W(x, y, dx, dy) \cdot g(x, y)) - \frac{1}{\sum_{x=dx}^{\frac{dx}{2}} \sum_{y=dy}^{\frac{dy}{2}} W(x, y, dx, dy)} \cdot \sum_{x=dx}^{\frac{dx}{2}} \sum_{y=dy}^{\frac{dy}{2}} (W(x, y, dx, dy) \cdot g(x, y)) \right\}} \quad \cdots (数36)$$

【0178】

【数37】

$$h(x, y) = \frac{\left\{ \sum_{x=dx}^{\frac{dx}{2}} \sum_{y=dy}^{\frac{dy}{2}} (W(x, y, dx, dy) \cdot f(x, y)) - d(x, y) \cdot \sum_{x=dx}^{\frac{dx}{2}} \sum_{y=dy}^{\frac{dy}{2}} (W(x, y, dx, dy) \cdot g(x, y)) \right\}}{\sum_{x=dx}^{\frac{dx}{2}} \sum_{y=dy}^{\frac{dy}{2}} W(x, y, dx, dy)} \quad \cdots (数37)$$

【0179】

12は、明るさの異なる画像信号を、明るさを一致させるべく、双方の画像信号を変換する明るさ変換部である。ここでは、画像全体に一括したフィルタ操作を実施して、明るさを一致させている。

【0180】

そして、得られた画像信号を比較部14において比較し、不一致を欠陥として検出するものである。

【0181】

23は、比較する2枚の画像を入力する画像入力部であり、この画像より、散布図作成部24において散布図を求める。散布図は、縦軸と横軸が、2枚の画像の明るさを示している。25は、得られた散布図を表示する表示部である。15は、入力手段であるが、例えば、差画像の絶対値を2値化するしきい値を入力し、入力したしきい値の線分を散布図上にプロットする。この散布図を見れば、入力したしきい値の妥当性が判断しやすい。また、表示された散布図を参照して、画像に適したしきい値を決めることもできる。散布図の1例を図34に示す。

【0182】

$W(x, y, dx, dy) = 1$  のときは以下のように示される。

【0183】

【数38】

$$a(x, y) = \frac{\left\{ \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (f(x, y) \cdot g(x, y)) - \frac{1}{(2dx+1) \cdot (2dy+1)} \cdot \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (f(x, y) \cdot \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} g(x, y)) \right\}}{\left\{ \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (g(x, y) \cdot g(x, y)) - \frac{1}{(2dx+1) \cdot (2dy+1)} \cdot \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (g(x, y) \cdot \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} g(x, y)) \right\}} \quad \dots (数38)$$

【0184】

【数39】

$$b(x, y) = \frac{\left\{ \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (f(x, y)) - a(x, y) \cdot \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (g(x, y)) \right\}}{(2dx+1) \cdot (2dy+1)} \quad \dots (数39)$$

【0185】

また、散布図において、プロットしたデータ群に線分を最小2乗法等であてはめ、この線分からのずれである誤差を求めることができる。

【0186】

直線を、 $Y = m \cdot f(x, y) + n$  とすると、最小2乗法 ( $m, n$ ) は以下の式にて算出)により直線近似を行う。

【0187】

【数40】

$$m = \frac{\sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (f(x,y) \cdot g(x,y)) - \frac{\sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} f(x,y) \cdot \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} g(x,y)}{(2dx+1) \cdot (2dy+1)}}{\sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} f(x,y)^2 - \frac{\left( \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} f(x,y) \right)^2}{(2dx+1) \cdot (2dy+1)}} \quad \dots (数40)$$

【0188】

【数41】

$$n = \overline{g(x,y)} - m \cdot \overline{f(x,y)} \quad \dots (数41)$$

【0189】

直線からの誤差は、例えば下式で求められる。

【0190】

【数42】

$$V_r = \frac{1}{(2dx+1) \cdot (2dy+1) - 1} \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (m \cdot f(x,y) + n - (m \cdot \overline{f(x,y)} + n))^2 \quad \dots (数42)$$

$$= \frac{1}{(2dx+1) \cdot (2dy+1) - 1} \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (m \cdot (f(x,y) - \overline{f(x,y)}))^2$$

【0191】

【数43】

$$V_e = \frac{1}{(2dx+1) \cdot (2dy+1) - 2} \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (g(x,y) - (m \cdot f(x,y) + n))^2 \quad \dots (数43)$$

【0192】

この誤差に基づき、しきい値を求め、求めたしきい値を散布図上にプロットできる。たとえば、しきい値は、この $V_e$ の平方根に比例した値とする。図24に、これを実現する構成例を示す。

## 【0193】

26は統計量算出部を示し、上記した線分の当てはめと、線分からの誤差を算出するものである。27は、この得られた統計量よりしきい値を算出するしきい値算出部である。もちろん、しきい値をユーザ入力可能な構成にしても問題ない。

## 【0194】

散布図に使用する画像は、比較する2枚の画像であり、例えば画素単位的位置合せ後の画像である。画像処理の各段階で、2枚の画像を画像入力部23に入力可能である。

## 【0195】

図26及び図27は、図23に示した方式に基づき、2枚の画像を処理した例を示したものである。対象は、ライン&スペースのパターンが、画像の右下部に検出されたものである。左上は、パターンがない領域である。各処理途中での画像のヒストグラム、差の画像の統計量も併せて示している。ヒストグラムからわかるように、最初の段階では、2枚の画像の明るさは一致していない。まず、これを画像を正規化相関により相関値を求め、この相関値が高い位置を求めることにより、画素の単位で位置合せする。次に、位置合せされた2枚の画像について局所階調変換である局所的明るさ補正を実施する。そして、最後に2枚の画像の明るさを一致させるフィルタリングを施し、画像の明るさの一致度をさらに向上させている。

## 【0196】

図28～30は、各処理段階での画像の散布図を示している。画素の単位で位置合せされた段階では、2枚の画像の明るさが一致していないため、散布図において斜め45度の直線にのらず、直線からのばらつきがみられる。しかし、本発明による局所階調変換である局所的明るさ補正とフィルタリングの処理の後では、散布図が直線に近いところに分布しており、2枚の画像の明るさをそろえる意味で効果があることがわかる。なお、傾きと切片とあるのは、散布図データにフィッティングした線分の傾きと切片である。2枚の画像の一致度の尺度である傾きは、最初0.705であったものが、局所階調変換である局所的明るさ補正後に、0

.986となり、さらにフィルタリングの処理の後で0.991となり、明るさの一致度が向上していることがわかる。

#### 【0197】

さらに、2枚の画像の一致度を表わす、前述の $V_e$ の値も、最初は40.02あったものが、局所階調変換である局所的明るさ補正後に、8.598となり、さらにフィルタリングの処理の後で7.477となり、明るさの一致度が向上していることがわかる。また、 $V_e$ の値の画像は、 $V_e$ の値を画像全体ではなく、例えば各画素の周りを含む $7 \times 7$ 画素の各領域毎に、直線近似して誤差 $V_e$ を求めたものを画像として表示したものを、図28～図30は示している。この画像を見れば、どの部分で明るさ合せ誤差が大きいかかわかる。

#### 【0198】

また、図31～図33は、画像の局所コントラストに関する散布図を示したものである。ここで、コントラストは、各画素の周囲、例えば $3 \times 3$ 画素について最大値と最小値を検出し、最大値－最小値を示す。局所コントラストも、本発明による局所階調変換とフィルタリングの処理の後では、散布図が直線に近いところに分布していることから、これらをそろえる意味もあると考えられる。傾きと切片等は、前述の図と同様の意味をもつ。なお、 $V_e$ の値の画像は、局所コントラスト画像において、各画素の周りを含む $7 \times 7$ 画素の領域に関して直線近似して $V_e$ を求めたものである。

#### 【0199】

図34～図37は、散布図としきい値の例を示したものである。図34は、2枚の画像が異なるため、これを誤検出しないように、しきい値が大きく設定されている。図35は、本発明による局所階調変換である明るさ補正後の散布図であり、2枚の画像の一致度が高いため、設定されたしきい値が小さい。図36は、明るさ合わせ後の散布図であり、さらにしきい値が小さくなっている。図37は、片方の画像を、各画素ではなく画像の単位で、線形の階調変換を施したもので、散布図上ではしきい値がオフセットをもっている。

#### 【0200】

図38は、画像単位の階調変換を区分的な線形変換とした例を示したものであ

る。この例では、2つの区分に分けている。

【0201】

このように、散布図としきい値は、欠陥検出感度等を決める基準或いは、設定したしきい値の妥当性確認など、はばひろく活用できるものである。

【0202】

これらの散布図作成、表示、或いは散布図のデータを用いたしきい値算出等は、検査開始前に、画像を検出し、この画像を用いて実施することも可能である。さらに、画像検出に同期して、散布図作成、しきい値設定等を画像毎に行えば、さらに高感度な検査が実現できることは、明白であろう。画像の検出は、各処理が終わった段階で行えばよい。なお、上記したように、画像処理はパイプライン型の処理で実現しているが、そうでない構成のものでも適用できるものである。

【0203】

図41に、別の処理結果を示す。図40では、まず画像のマッチング(正規化相関)による位置合わせを行う。次に、明るさ補正を行う。明るさ補正では、前述の明るさフィルタリングと局所的明るさ補正を同時に行う。これによれば、より構成が簡単になる。

【0204】

なお、上記した例では、リアルタイムで(画像検出と同期して)、係数 $m$ 、 $n$ 等を求めて、画像の明るさを補正した。その簡略版として、各画像の明るさについて、係数 $m$ 、 $n$ を求めておき、これを参照する形で、明るさ補正を行う手段も考えられる。各画像とは、比較する2枚の画像でもよい。即ち、比較する2枚の画像の明るさを入力し、これに対する係数 $m$ 、 $n$ を求めておく。そして、作成された参照表をもとに明るさ補正を行うのである。

【0205】

次に、画像の大きさに関して説明する。画像の大きさ、即ち画像の位置合せ(マッチング)の単位は、次の方法で決定できる。まず、比較する2枚の画像の位置ずれ量を細かく分割した単位で求める。これを図39に示す。X方向とY方向に分離して検出している。この位置ずれデータをスペクトル分析すると、図40のような波形が得られる。スペクトル分析図では、縦軸はスペクトル密度、横軸



は周波数を示す。この図において、最も高い周波数であり、かつ密度の高い周波数に着目する。この図の場合、0.011となる。この周波数は、例えばステージの走行特性等の装置特性、振動特性により決まるものである。

#### 【0206】

スペクトル分析結果は、2枚の画像の位置ずれがこの周波数で繰り返していることを表わしており、この逆数である88ラインを画像の単位、即ちマッチングの単位とすると、画像内に位置ずれのピーク $\pi$ ピークが現れ、位置ずれ量が大い場合精度の高い位置合せが困難となる。しかし、画像の単位をこの周波数の逆数の $1/4$ にすると、ピークの位置ずれの $1/2$ 以下に位置ずれ量を低減することができる。さらに、周波数の逆数の $1/8$ にすると、ピークの位置ずれの $1/4$ 以下に位置ずれ量を低減することができる。

#### 【0207】

このように、画像の単位を細かくすればするほど、画像の位置合せの精度を向上できるはずであるが、画像内に含まれるべきパターンの情報が少なくなるので、結果としては画像の位置合せ精度が上がらない。従って、スペクトル分析結果からは、必要とする位置合せ精度をもとに、画像の大きさに制限がなされ、パターン情報の確保の観点からは、比較するパターンに応じてであるがパターンのスペース情報（パターンが形成されていない領域に関する情報）をもとに画像の大きさの下限が決定できる。図25に、この構成を示す。なお、上記した説明では、最も高い周波数に着目したが、位置ずれの量に着目し、その大きなものに相当する周波数に着目しても効果的である。

#### 【0208】

なお、上記は、x、y成分に分離して上記を行うこともできるし、蓄積型のリニアイメージセンサの場合のように、ステージの進行方向のみに着目して実施してもよい。

#### 【0209】

上記発明の実施の形態1、2、3によれば、場所によるパターンの明るさの違いに影響されることなく、欠陥を高感度に検出することができる。また、メモリマツト部21など暗い領域において、明るさが大きくばらつくパターンにおいて

も高感度に検査できる。また、装置が有する振動特性等に影響を受けることなく、高精度な画像のマッチングが実現できる。従って、従来に比べ、信頼性の高い検査を実現することができる。

【0210】

以上、本発明に係る実施の形態について、主に光学顕微鏡や走査型電子顕微鏡を用いた比較検査方法について述べたが、他の赤外線やX線により得られた画像検出に用いた場合にも、同様に有効であることはいうまでもない。

【0211】

【発明の効果】

本発明の構成によれば、多層のパターンの膜厚の違いによって生ずる明るさの違いによって全体の検査感度が律束されることなく、欠陥を高感度に検出することができる効果を奏する。

【0212】

また、高精度の画像マッチングの実現に効果を奏する。さらに、比較すべき2つの検出画像信号の明るさや微分等の処理を施した明るさ情報、或いは指定した画像処理途中の明るさ情報を、縦軸と横軸とした散布図を併せて使うことにより、しきい値の決定やその妥当性確認が有効にできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の一実施形態に係る被検査パターンの欠陥検査装置の構成図である。

【図2】

本発明の一実施形態に係る被検査パターンの欠陥検査装置の構成図である。

【図3】

画像明るさ一致フィルタ操作部の説明図である。

【図4】

階調変換部の説明図である。

【図5】

双対フィルタの例を示す図である。

【図 6】

本発明にかかる検出画像と差画像の例を示す図である。

【図 7】

本発明の階調変換を実施した例を示す図である。

【図 8】

本発明の階調変換を実施した例を示す図である。

【図 9】

本発明の階調変換を実施した例を示す図である。

【図 10】

本発明の階調変換を実施した例を示す図である。

【図 11】

本発明の階調変換を実施した例を示す図である。

【図 12】

本発明のしきい値設定方式の説明図である。

【図 13】

本発明のしきい値設定方式の説明図である。

【図 14】

本発明の画像明るさ一致フィルタ操作部の動作説明図である。

【図 15】

被検査パターンのメモリチップにおけるメモリマット部と周辺回路部の略示説明図である。

【図 16】

図 10 のメモリチップにおけるメモリマット部と周辺回路部における明るさのヒストグラムである。

【図 17】

CMP プロセス処理のフローを説明する図である。

【図 18】

CMP 処理された、異なるメモリチップにおけるメモリマット部と周辺回路部における明るさのヒストグラムである。

【図 19】

本発明の一実施形態に係る被検査パターンの欠陥検査装置の構成図である。

【図 20】

しきい値演算回路の構成を説明する図である。

【図 21】

2枚の画像の差の2乗和を表す図である。

【図 22】

2枚の画像の差の絶対値の和を表す図である。

【図 23】

本発明の一実施形態に係る被検査パターンの欠陥検査装置の構成図である。

【図 24】

本発明の一実施形態に係る散布図作成、表示を説明する図である。

【図 25】

本発明の一実施形態に係る被検査パターンの欠陥検査装置の構成図である。

【図 26】

比較する2枚の画像に関して、各画像処理の段階での結果を表わす図である。

【図 27】

比較する2枚の画像に関して、各画像処理の段階での結果を表わす図である。

【図 28】

比較する2枚の画像に関して、各画像処理の段階での散布図を表わす図である。

【図 29】

比較する2枚の画像に関して、各画像処理の段階での散布図を表わす図である。

【図 30】

比較する2枚の画像に関して、各画像処理の段階での散布図を表わす図である。

【図 31】

比較する2枚の画像に関して、各画像処理の段階での局所コントラストの散布

図を表わす図である。

【図 3 2】

比較する 2 枚の画像に関して、各画像処理の段階での局所コントラストの散布図を表わす図である。

【図 3 3】

比較する 2 枚の画像に関して、各画像処理の段階での局所コントラストの散布図を表わす図である。

【図 3 4】

散布図の 1 例を表わす図である。

【図 3 5】

散布図の 1 例を表わす図である。

【図 3 6】

散布図の 1 例を表わす図である。

【図 3 7】

散布図の 1 例を表わす図である。

【図 3 8】

散布図の 1 例を表わす図である。

【図 3 9】

画像の位置ずれ量を説明する図である。

【図 4 0】

スペクトル分析を説明する図である。

【図 4 1】

比較する 2 枚の画像に関して、各画像処理の段階での結果を表わす図である。

【符号の説明】

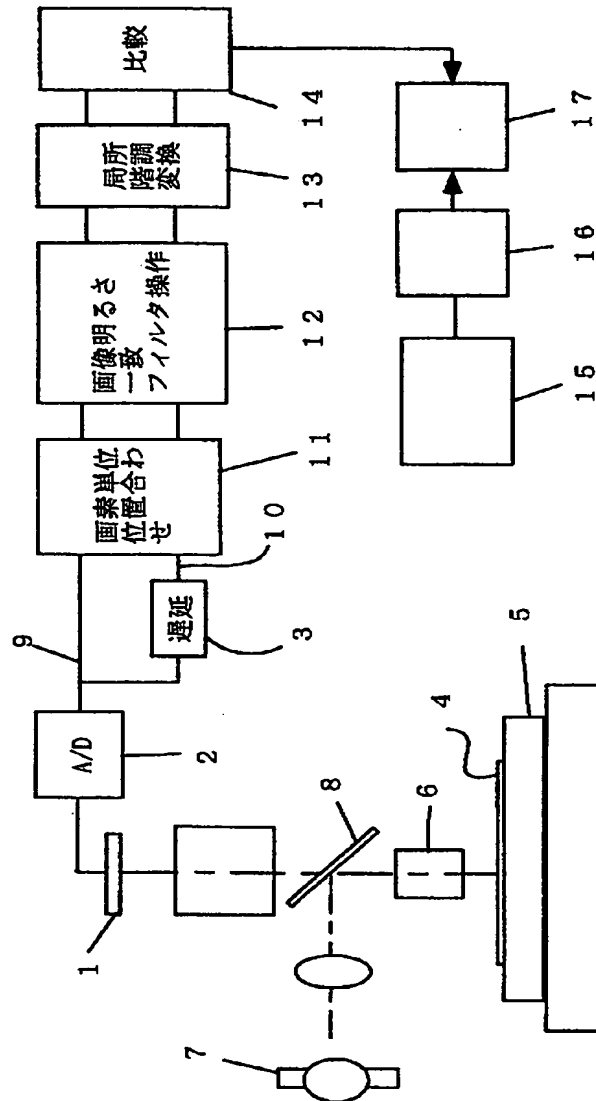
1…イメージセンサ、2…A/D変換器、3…遅延メモリ、4…半導体ウエハ、  
5…X、Y、Z、 $\theta$  ステージ、6…対物レンズ、7…照明光源、8…ハーフミラ  
、9…画像信号、10…画像信号、11…画素単位位置合わせ部、12…画像明  
るさ一致フィルタ操作部、13…階調変換部、14…比較部、15…入力手段、  
16…CPU、17…記憶装置、20…チップメモリ、21…メモリマツト部、

22…周辺回路部（非繰り返しパターンであるが、複数の繰り返しピッチをもつ繰り返しパターンを含む）、23…画像入力部、24…散布図作成部、25…表示部、26…統計量算出部、27…しきい値算出部（或いは入力部）、31…電子銃、32…磁界レンズ、33…対物レンズ、34…偏向器、35…検出器、36…アンプ、37…グランド電極、38…リターディング電極、39…A/D変換器、40…前処理回路、41…遅延回路、42…画素単位的位置合わせ部、46…局所階調変換回路、48…しきい値演算回路、49…差分抽出回路、50…欠陥判定回路、101…検出部、102…画像取り出し部、103…画像処理部、104…全体制御部。

【書類名】 図面

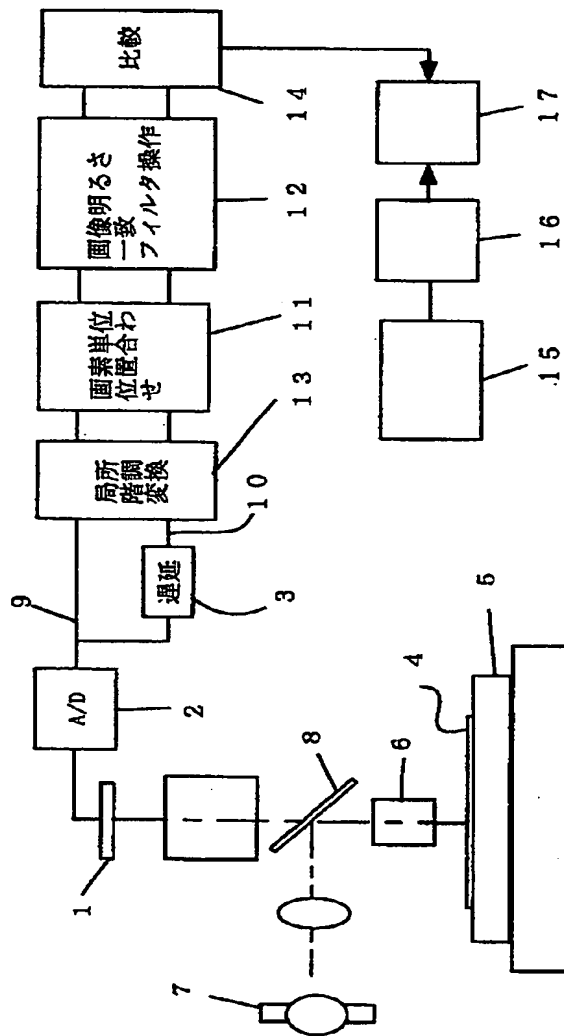
【図 1】

図 1



【図 2】

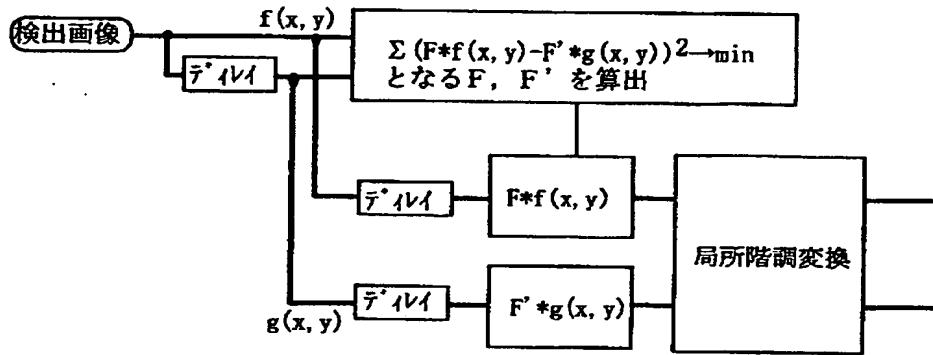
図 2





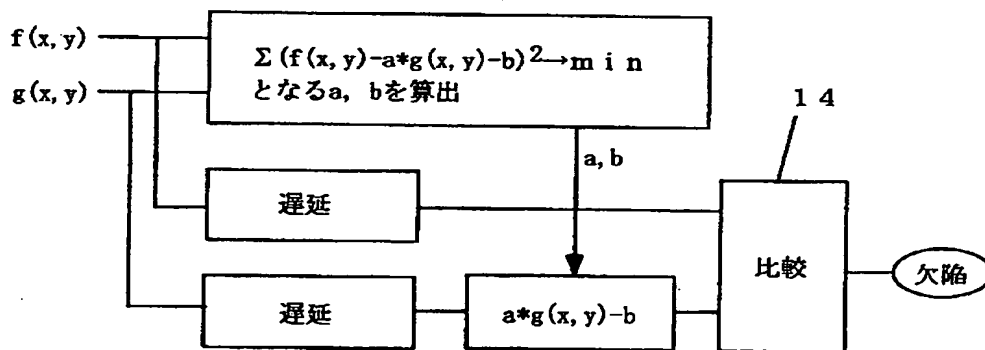
【図 3】

図 3



【図 4】

図 4



【図5】

図5

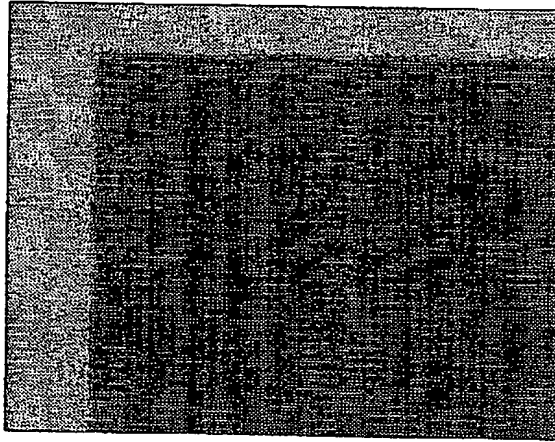
$$F = \begin{bmatrix} 1 - \alpha - \beta & \alpha \\ \beta & 0 \end{bmatrix}$$

$$F' = \begin{bmatrix} 0 & \beta \\ \alpha & 1 - \alpha - \beta \end{bmatrix}$$

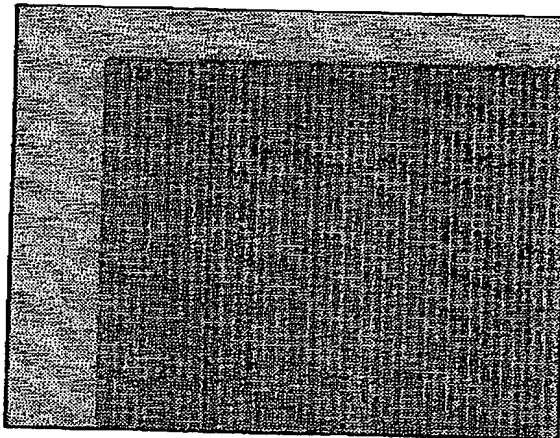
【図6】

図 6

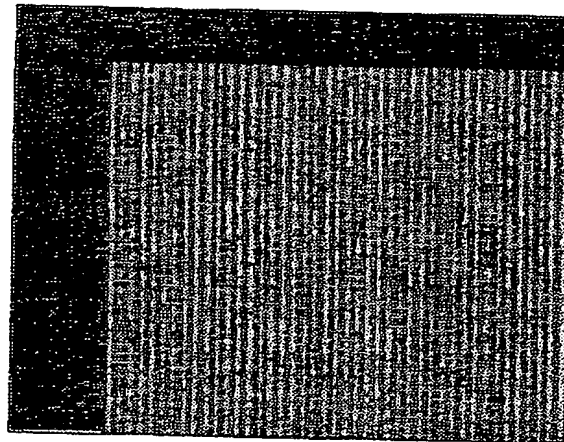
$f(x, y)$



$g(x, y)$



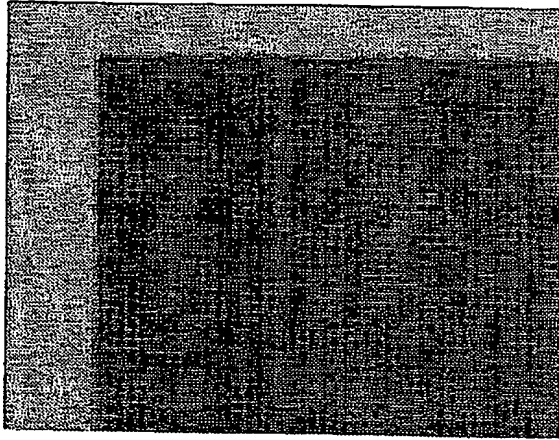
$|f(x, y) - g(x, y)|$



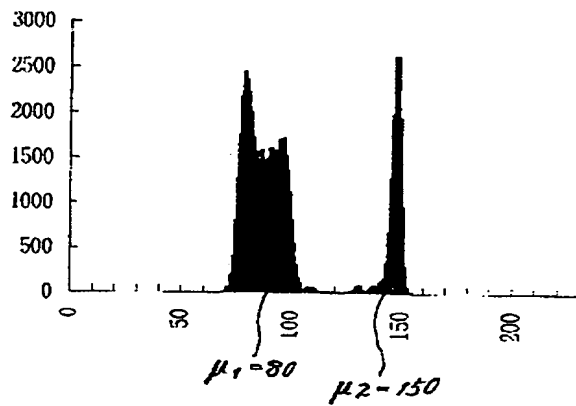
差画像

【図 7】

図 7



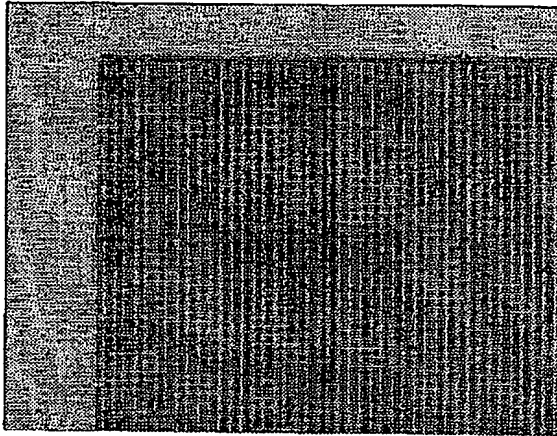
$g(x, y)$



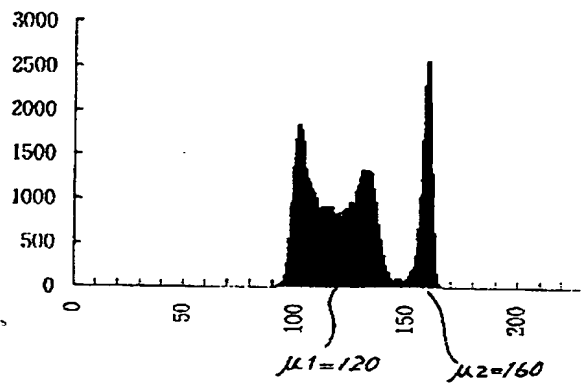
$g(x, y)$  の明るさヒストグラム

【図 8】

図 8



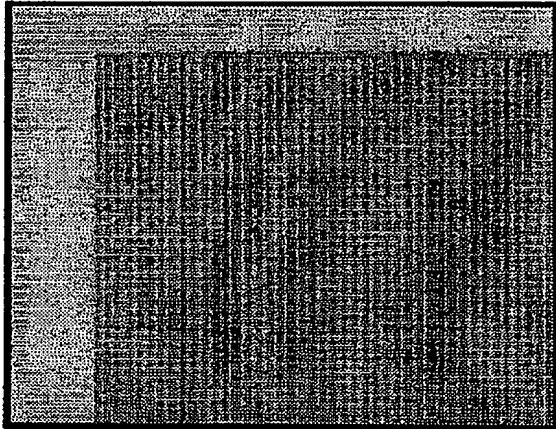
$f(x, y)$



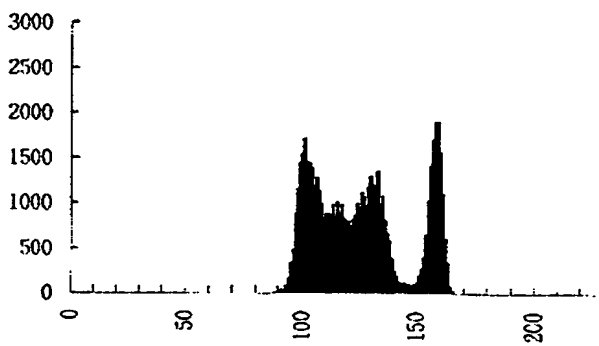
$f(x, y)$  の明るさヒストグラム

【図9】

図 9



$$ag(x, y) + b$$

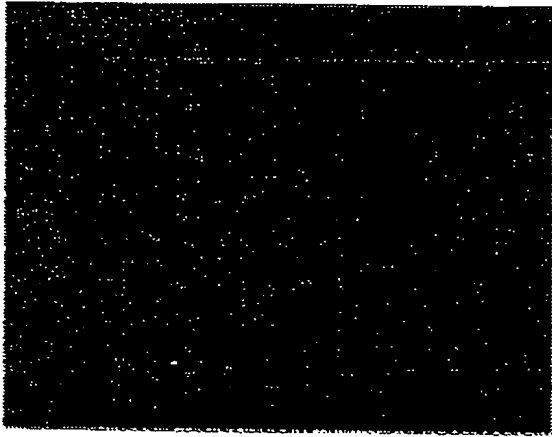


$\{ag(x, y) + b\}$  の明るさヒストグラム

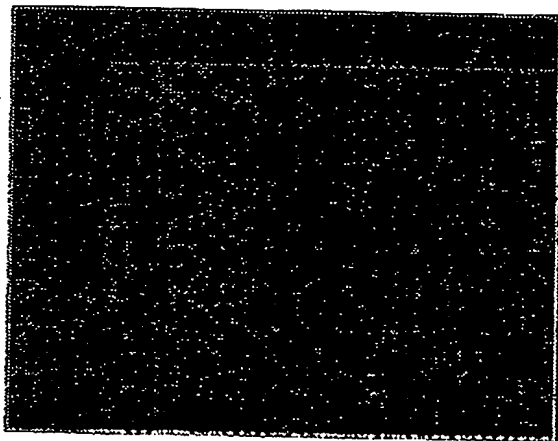
※  $a, b$  は各点において画像の場所領域内でそれぞれ求める。

【図 1 0】

図 1 0



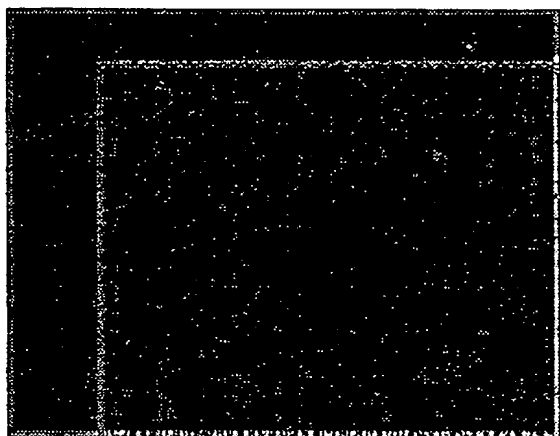
差画像1(3×3)



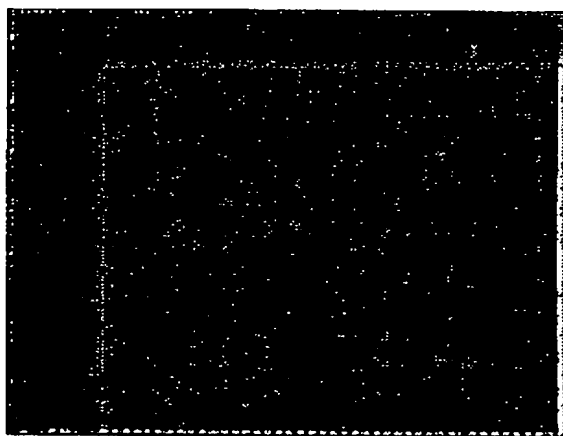
差画像2(5×5)

【図11】

図 11



差画像3 (7×7)

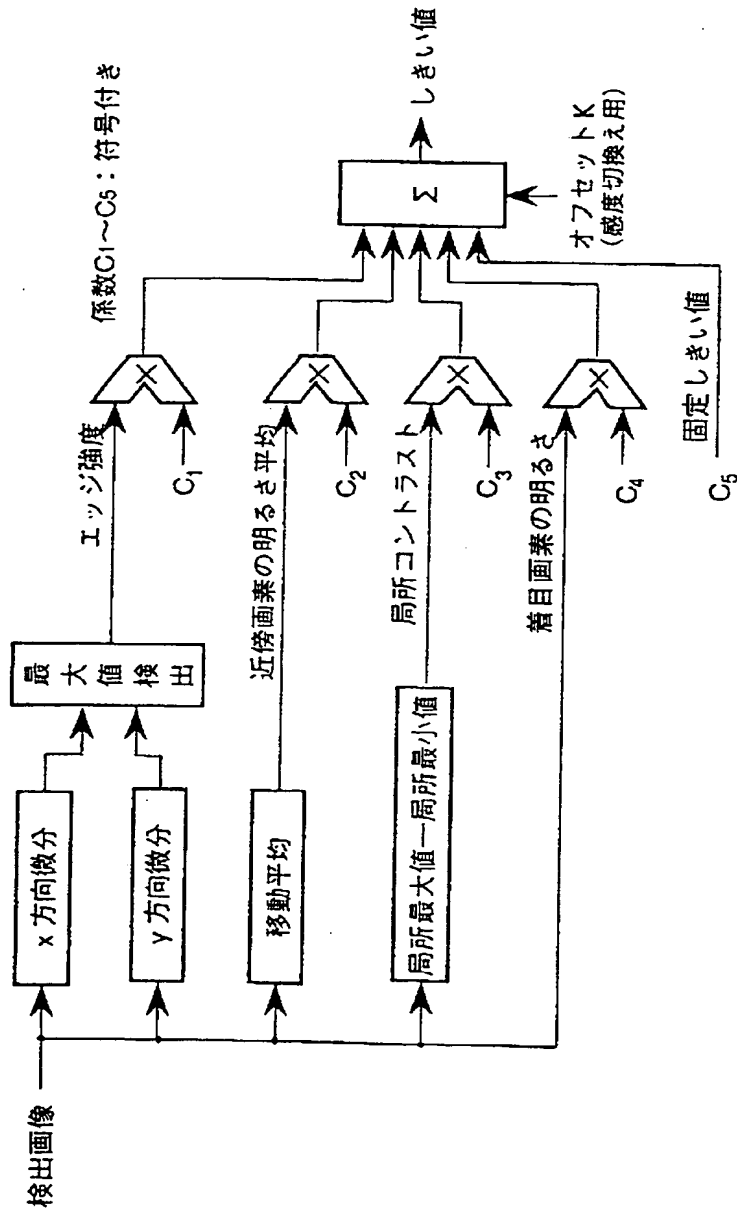


差画像4 (7×7, 重み付け)



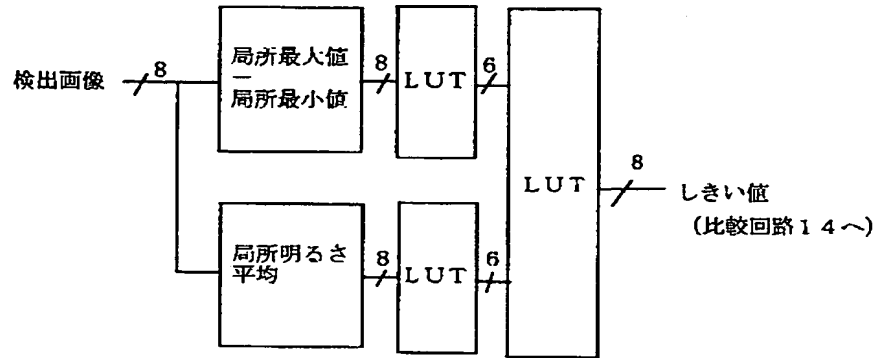
【図 12】

図 12



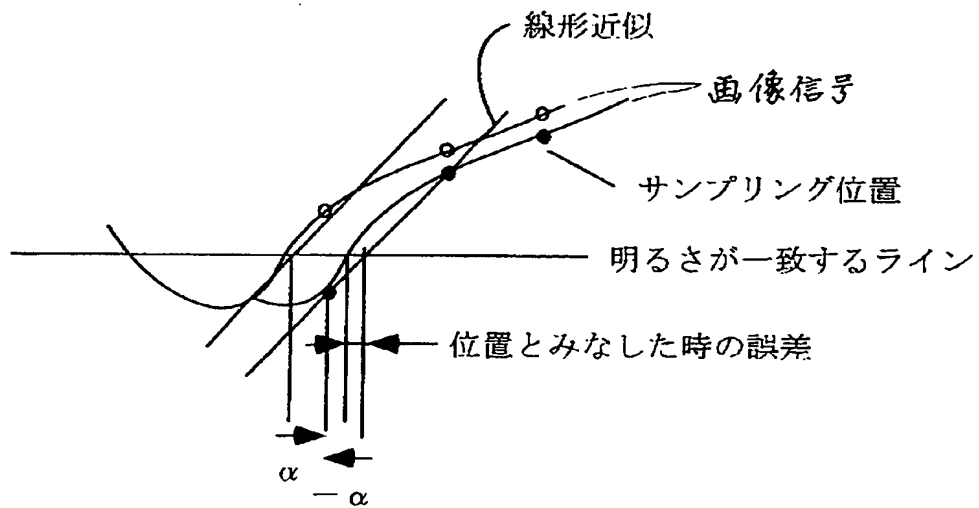
【図 13】

図 13



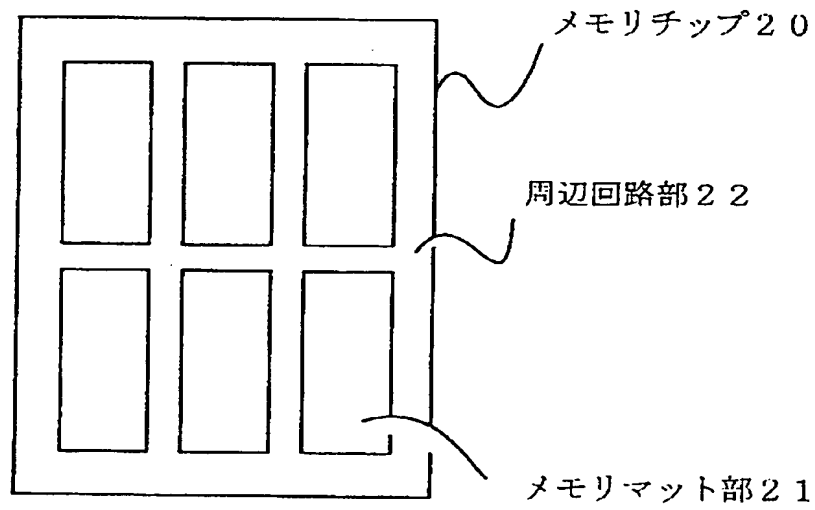
【図 14】

図 14



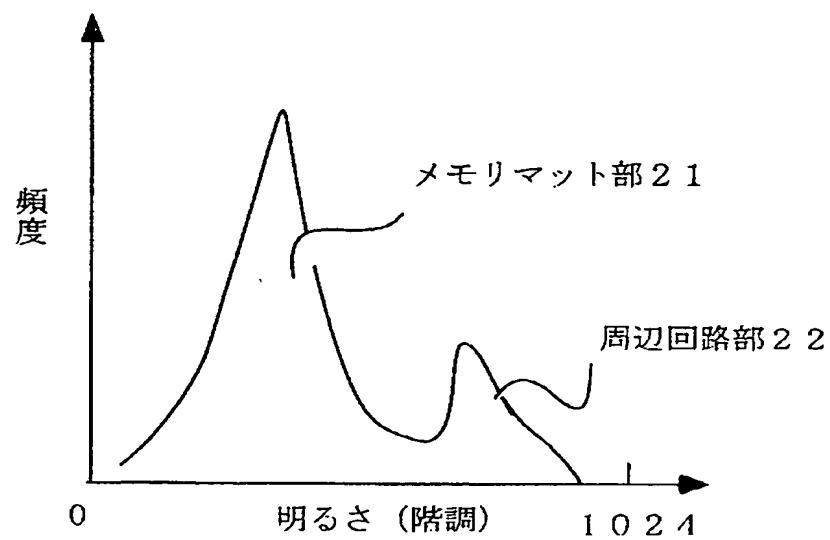
【図15】

図 15



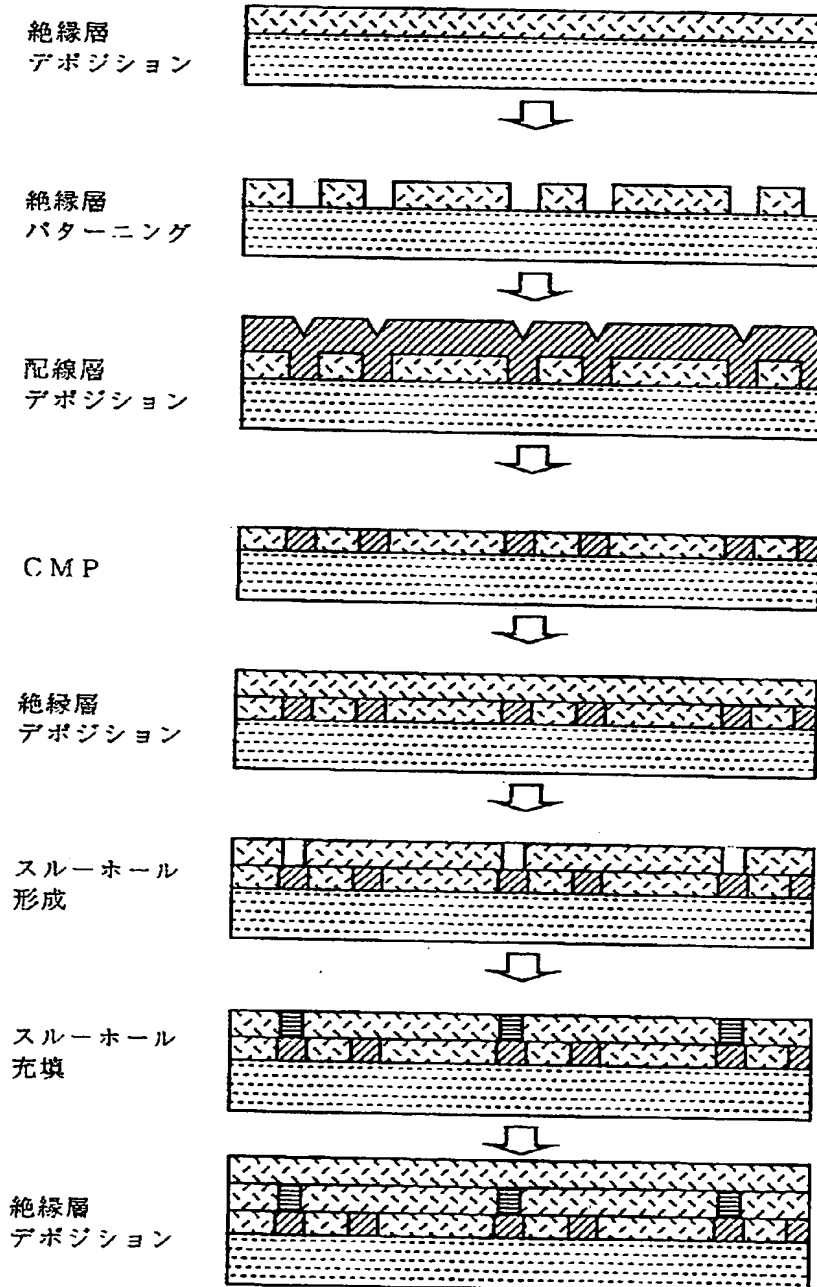
【図16】

図 16



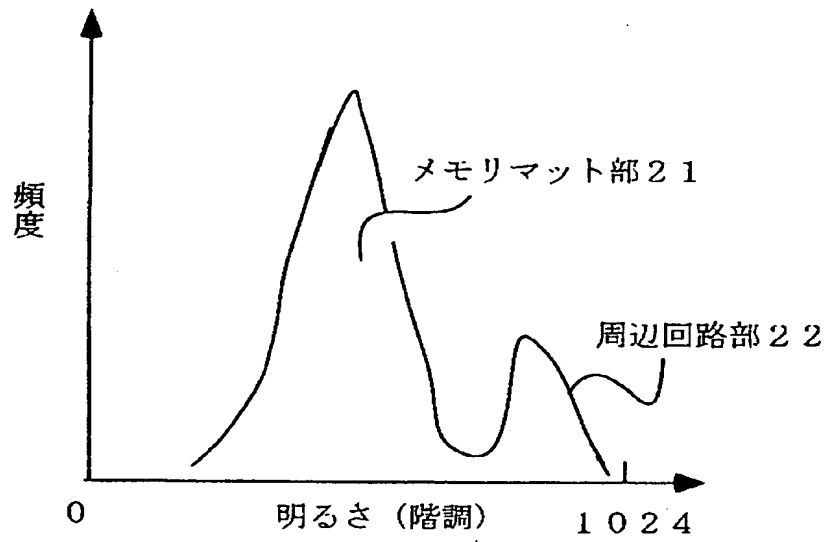
【図 17】

図 17



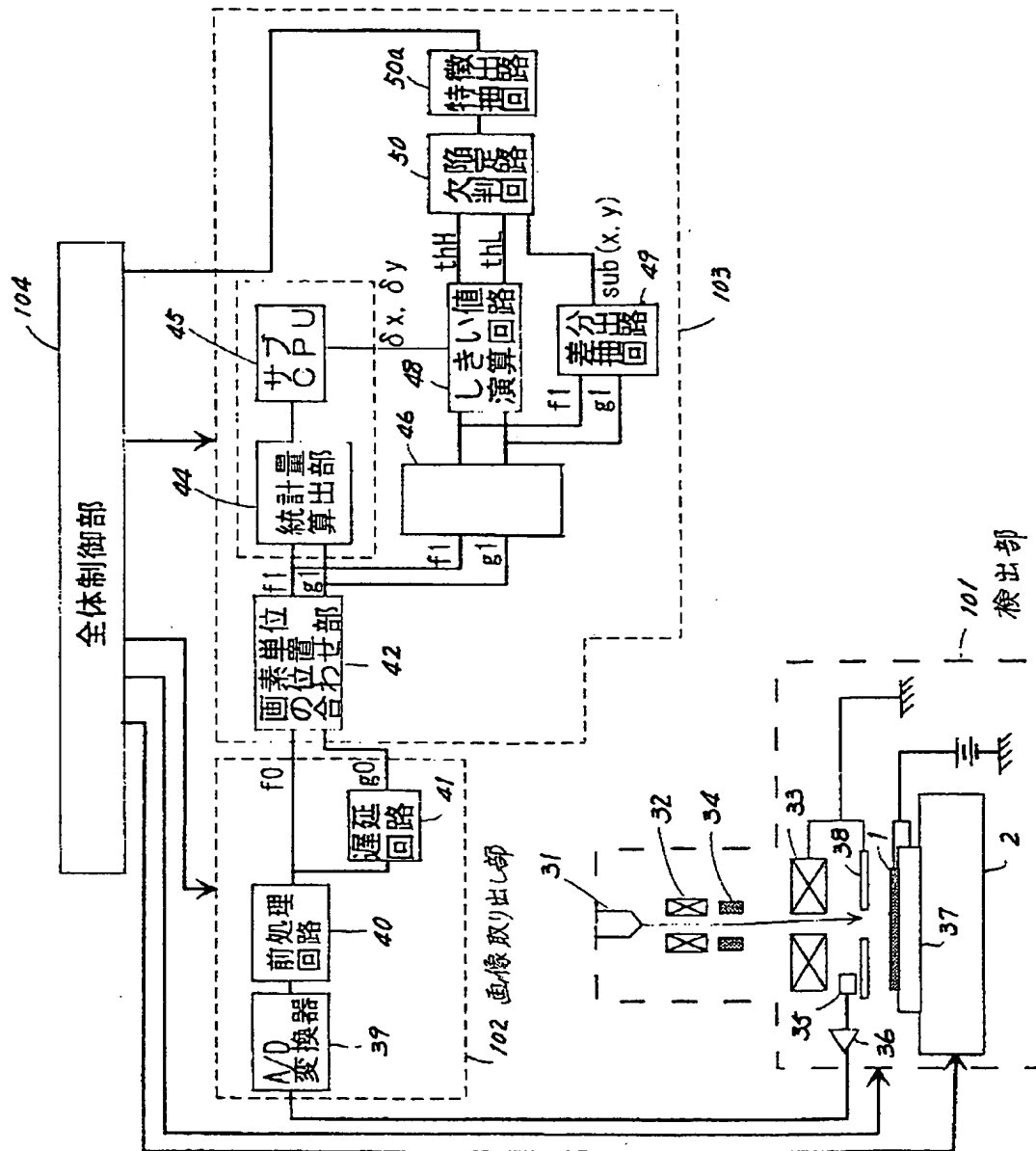
【図 18】

図 18



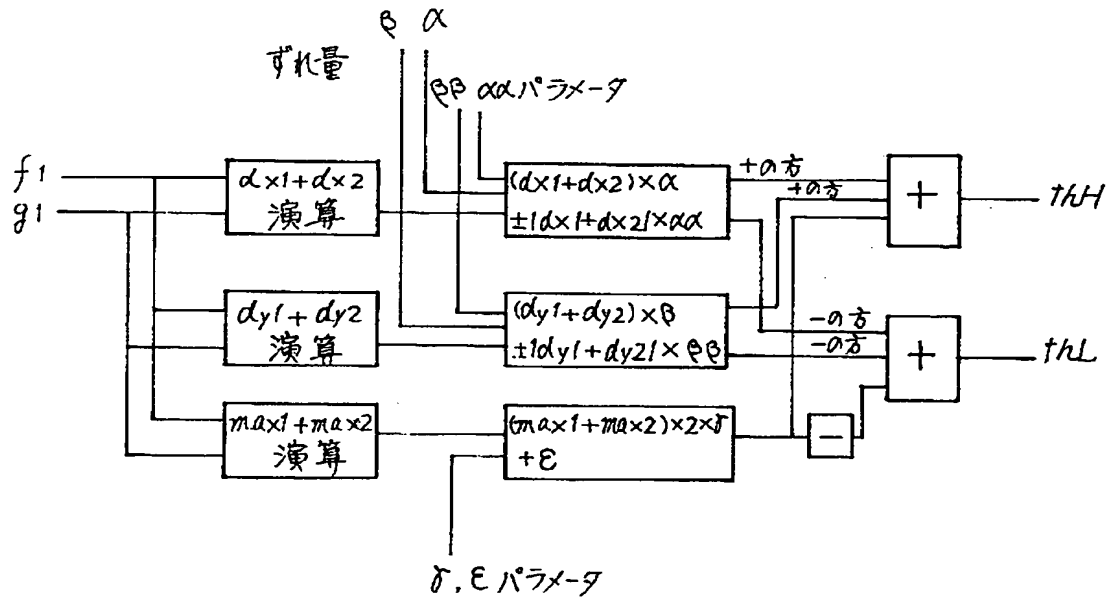
【圖 19】

图 19



【図 20】

図 20



【図 21】

図 21

	-1	0	1
-1	$8.28 \times 10^{-4}$	$1.56 \times 10^{-4}$	$9.07 \times 10^{-4}$
0	$8.55 \times 10^{-4}$	0	$8.59 \times 10^{-4}$
1	$9.0 \times 10^{-4}$	$1.35 \times 10^{-4}$	$8.33 \times 10^{-4}$

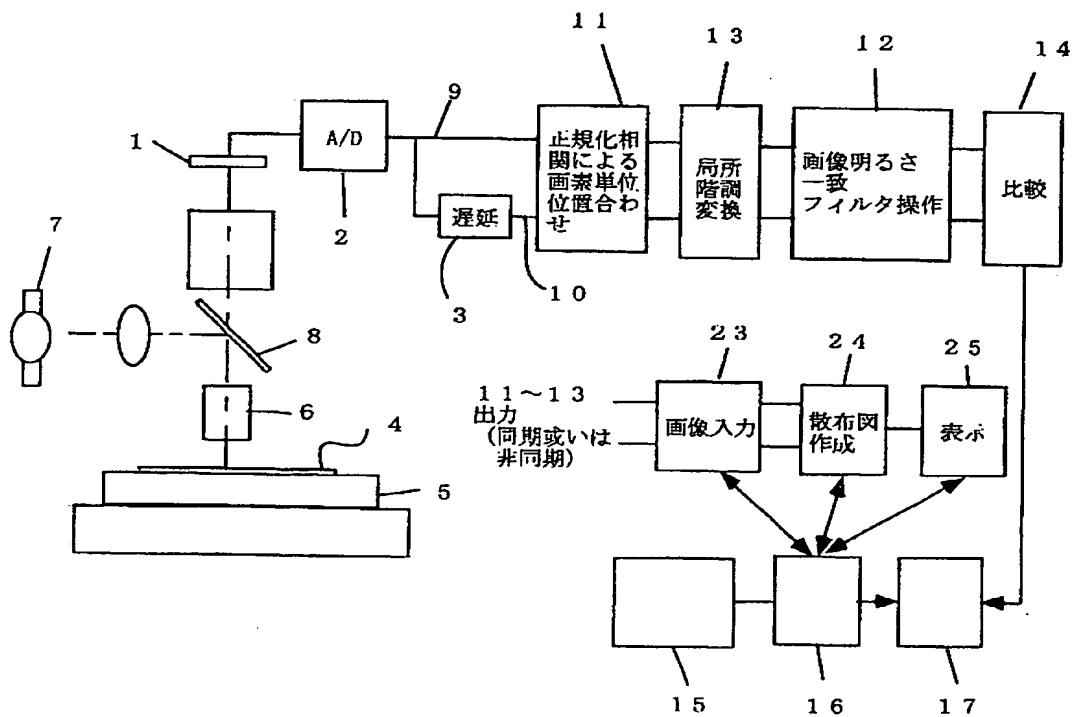
【図 22】

図 22

	-1	0	1
-1	967323	742941	951727
0	953922	732608	939418
1	950797	728323	937704

【図 23】

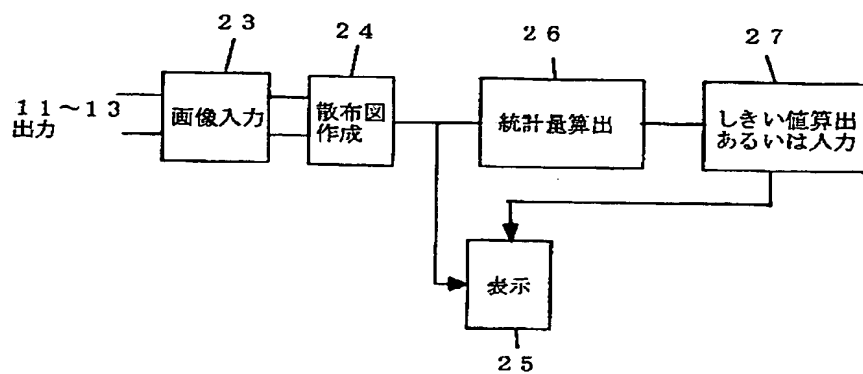
図 23





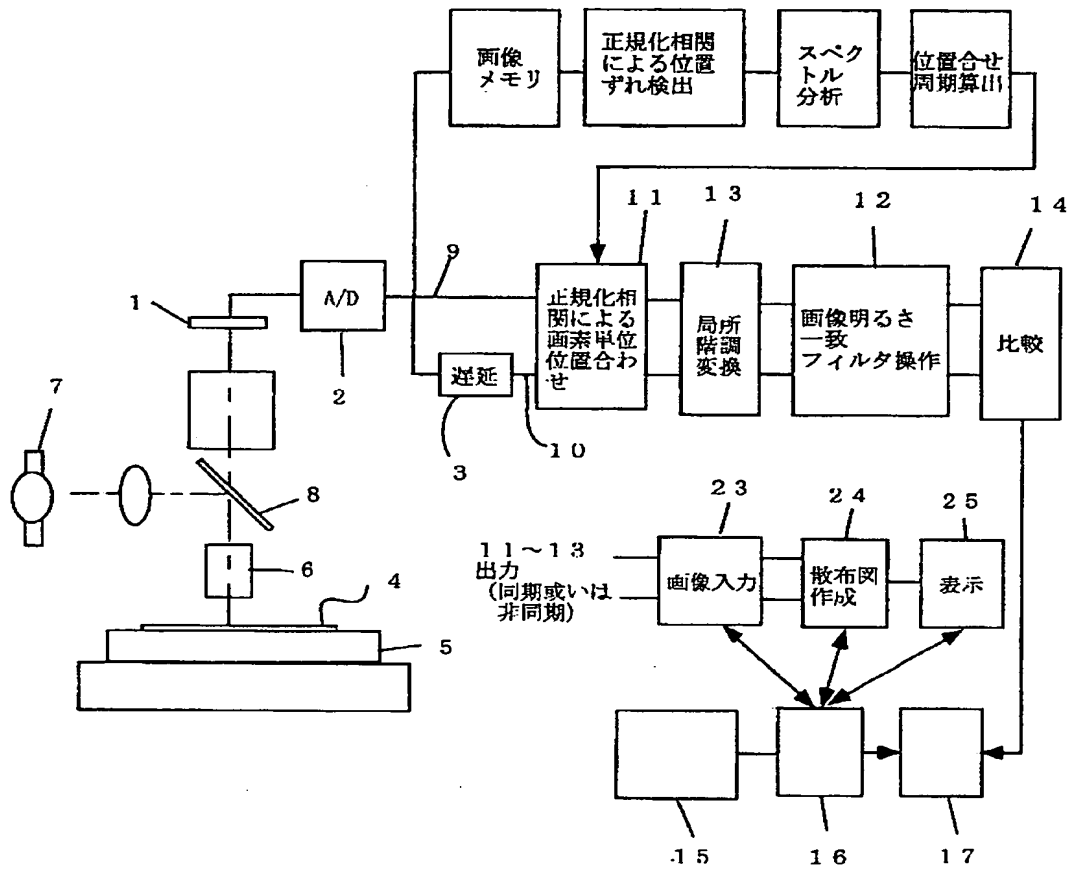
【図 24】

図 24



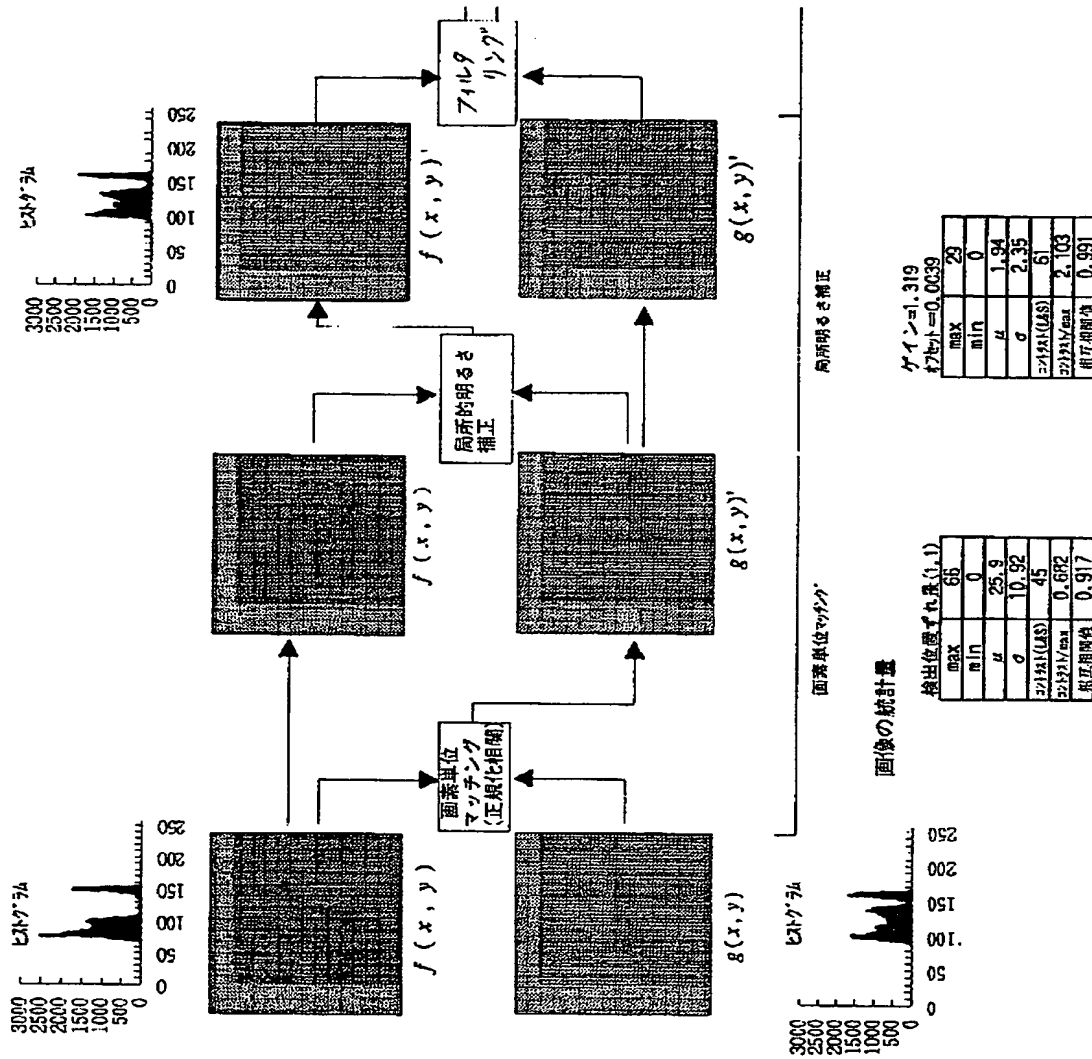
【図 25】

図 25



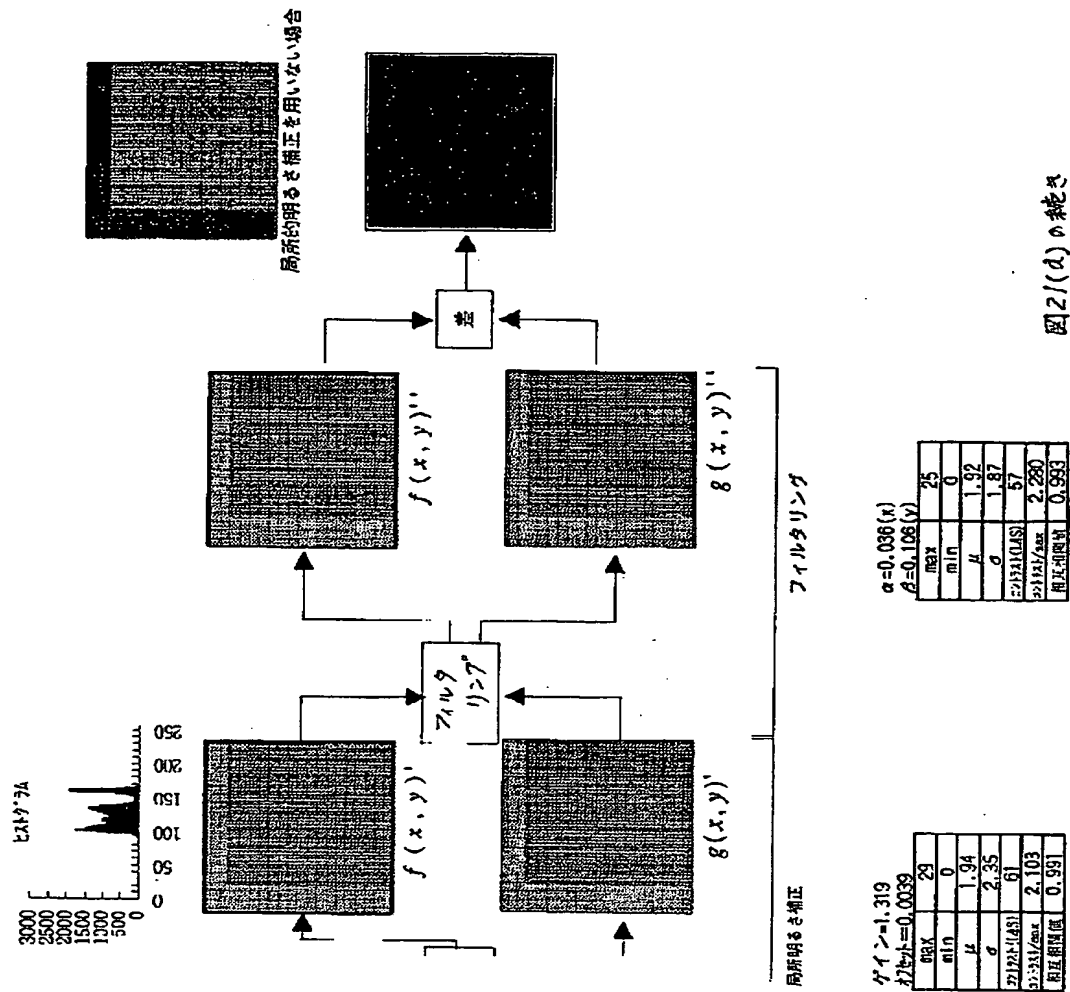
【図 26】

図 26



【図 27】

図 27



【図 28】

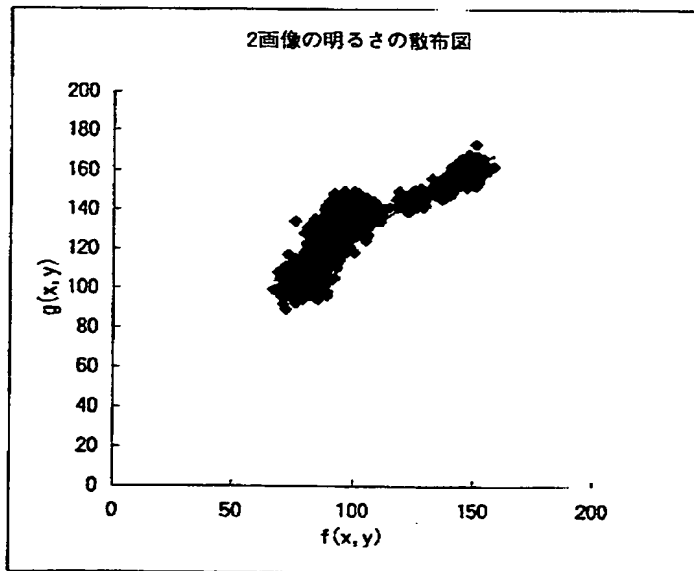
図 28

2枚の画像の明るさの散布と統計量  $V_e$

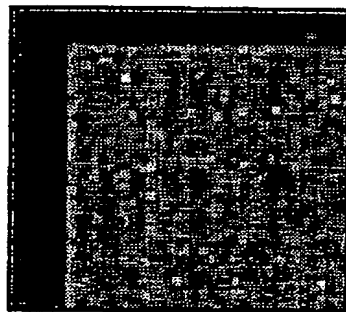
1) 画素単位的位置あわせ後

傾き	切片
0.705	55.947

$V_r = 447.4806$   
 $V_e = 40.02821$



$V_e$  の値



【図 29】

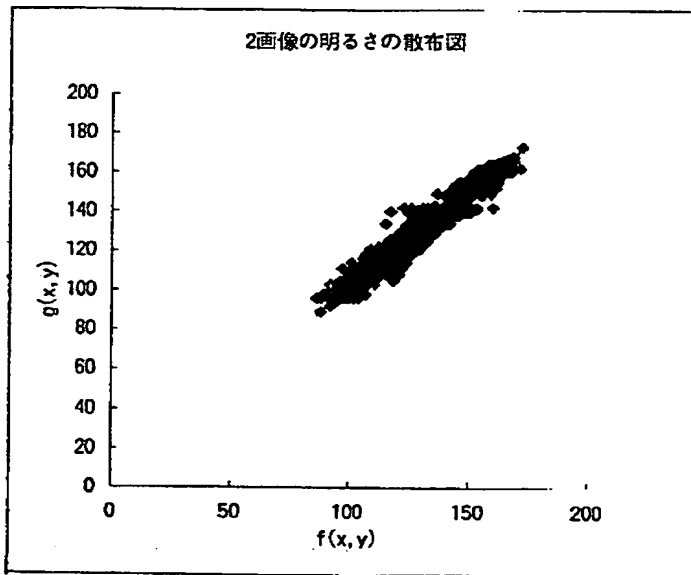
図 29

2)明るさ合わせ後

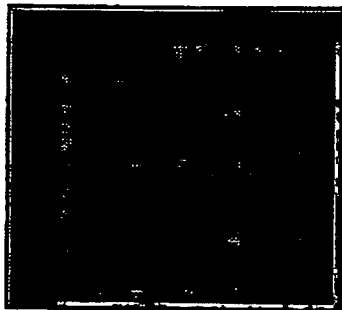
傾き	切片
0.986	2.567

$Vr = 478.921$

$Ve = 8.598012$



$Ve$  の値



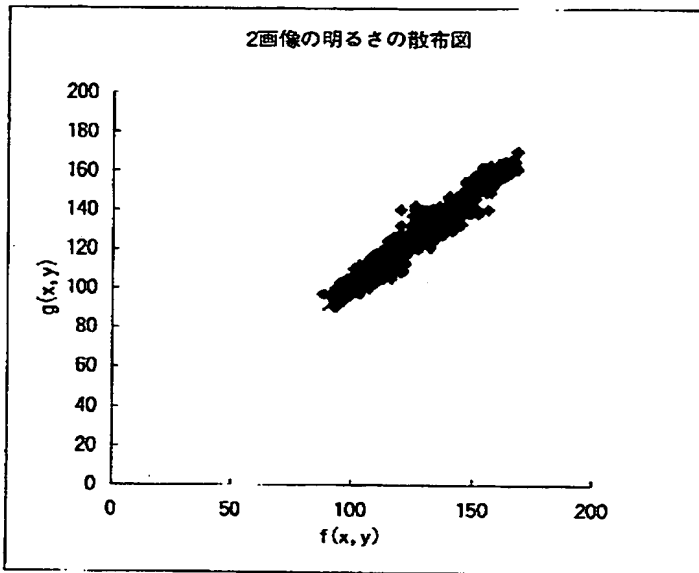
【図 30】

図 30

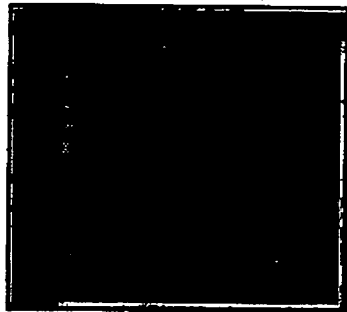
3) フィルタリング後

傾き	切片
0.991	1.568

$V_r = 473.2729$   
 $V_e = 7.477604$



$V_e$  の値



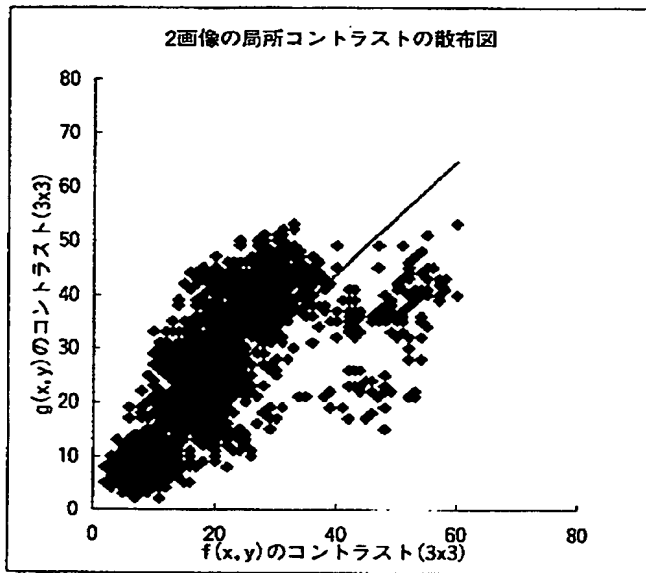
【図 31】

図 31

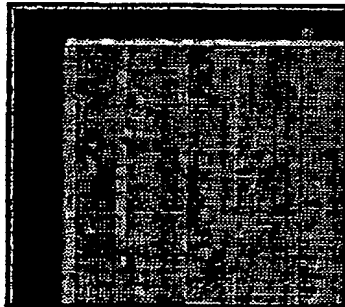
1)画素単位的位置あわせ後

傾き	切片
1.038	2.336

$Vr = 125.774$   
 $Ve = 59.653$



$Ve$ の値





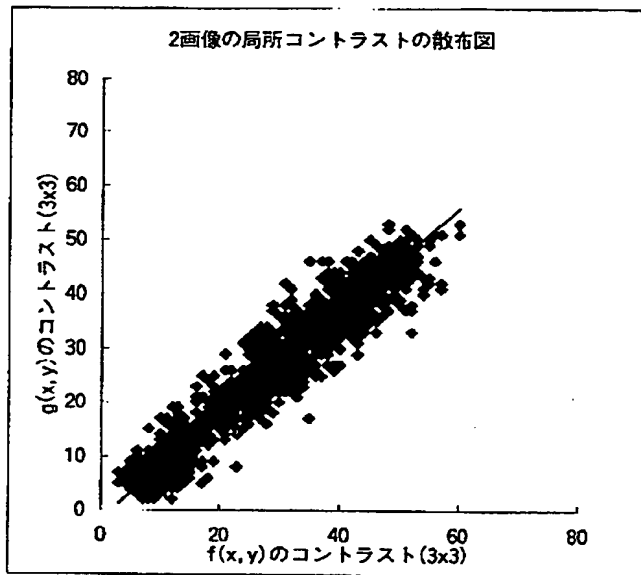
【図 3 2】

図 3 2

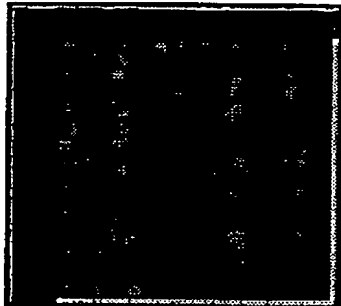
2) 明るさ合わせ後

傾き	切片
0.958	-1.649

$Vr = 175.852$   
 $Ve = 9.603$



$Ve$  の値



【図 3 3】

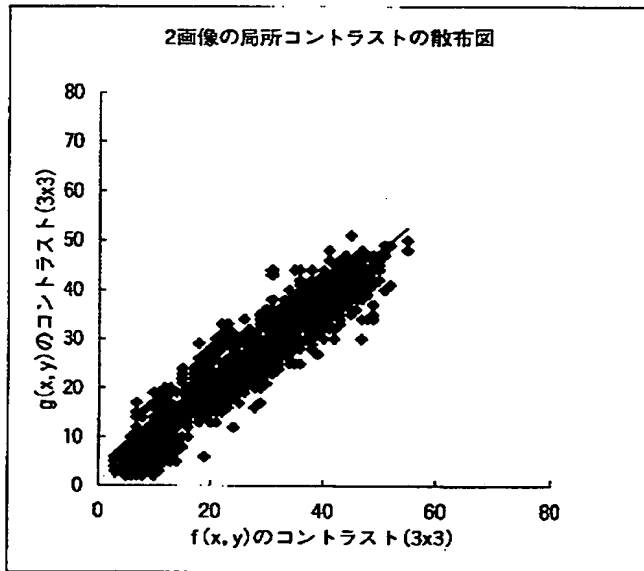
図 3 3

3) サブピクセルの位置あわせ後

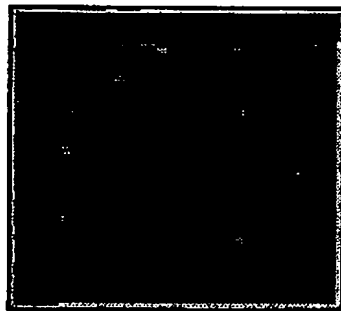
傾き	切片
0.981	-1.454

Vr= 168.393

Ve= 8.869

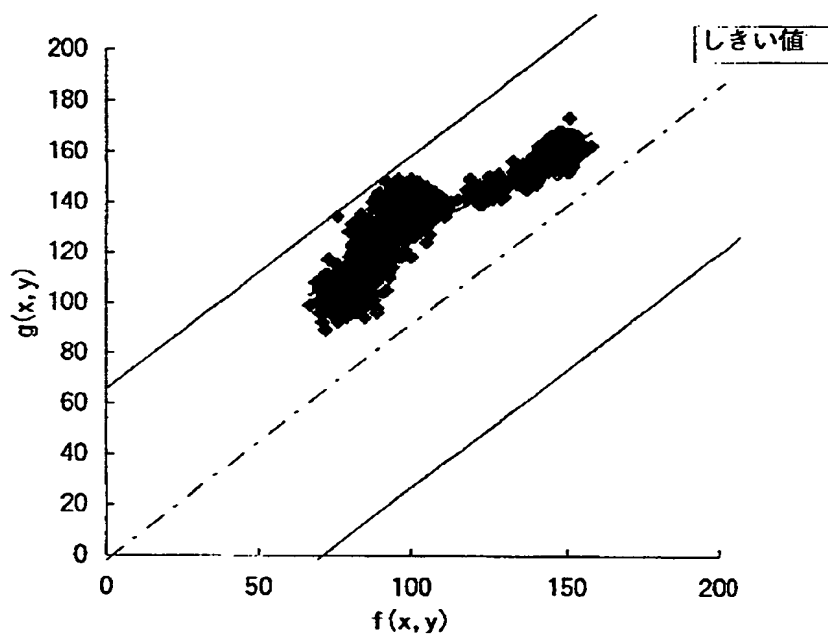


Veの値



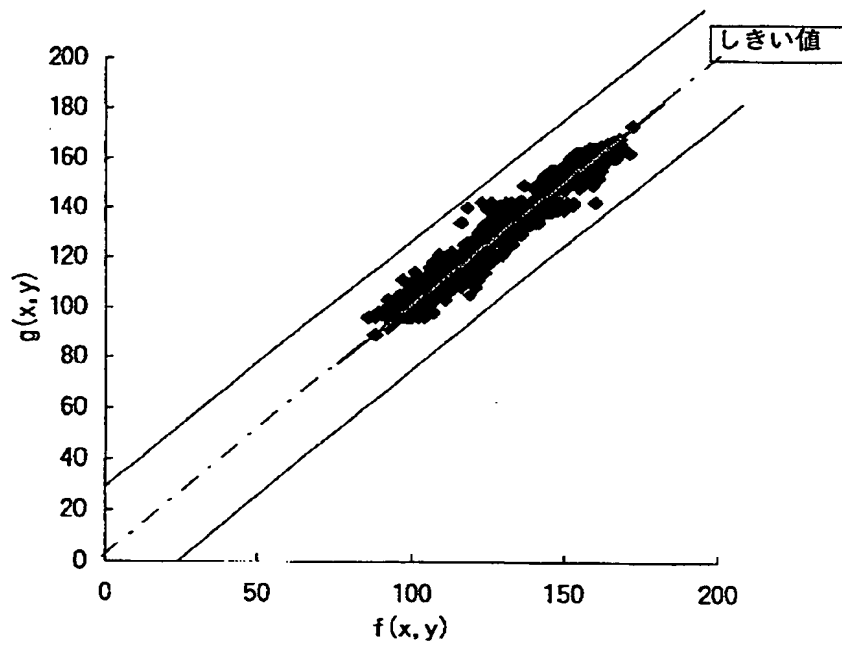
【図34】

図 34



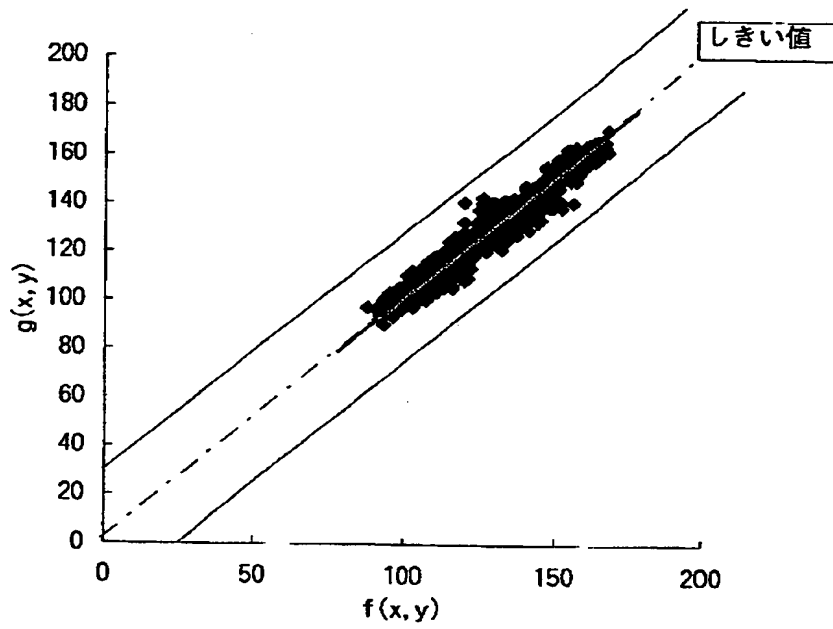
【図 35】

図 35



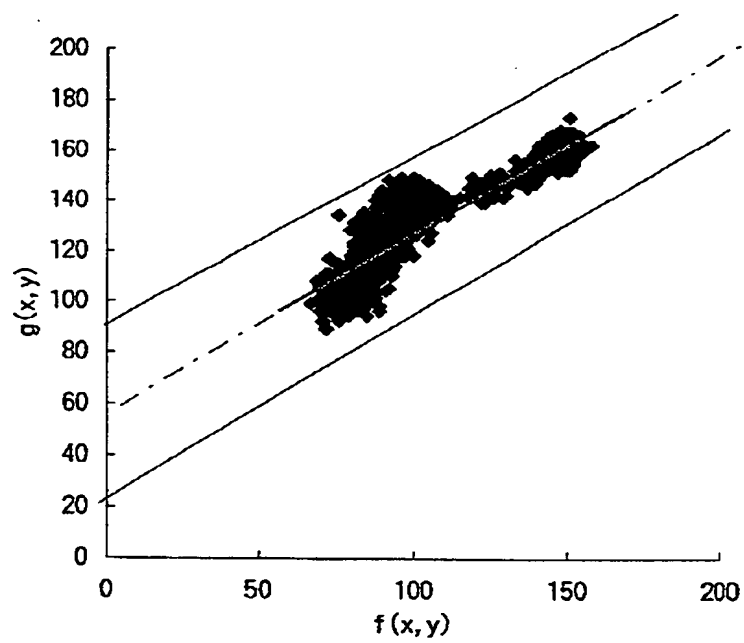
【図 36】

図 36



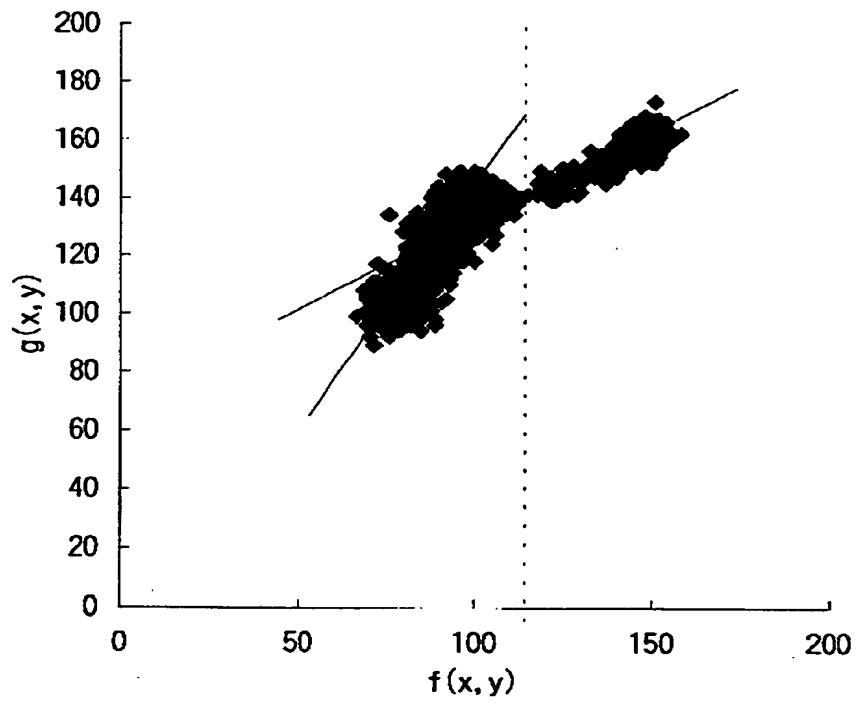
【図 37】

図 37



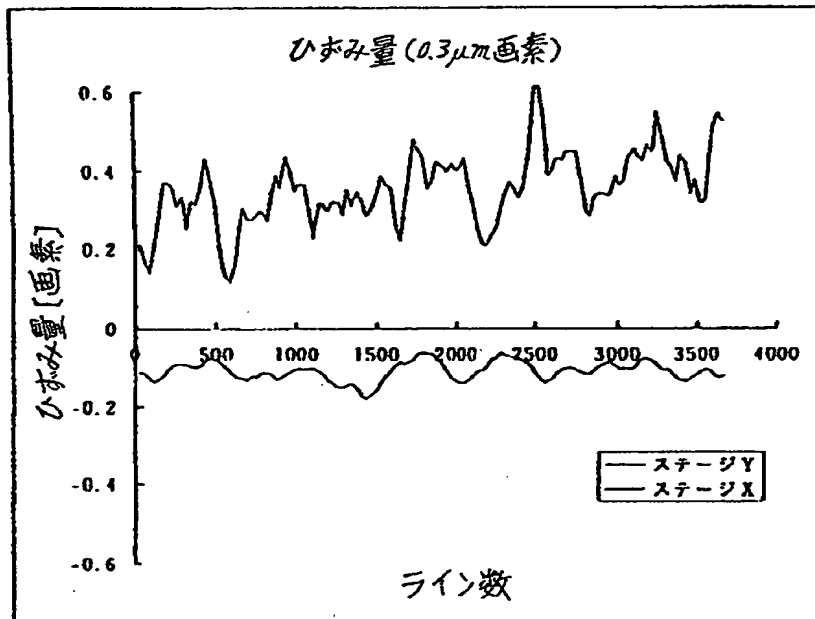
【図 38】

図 38



【図 39】

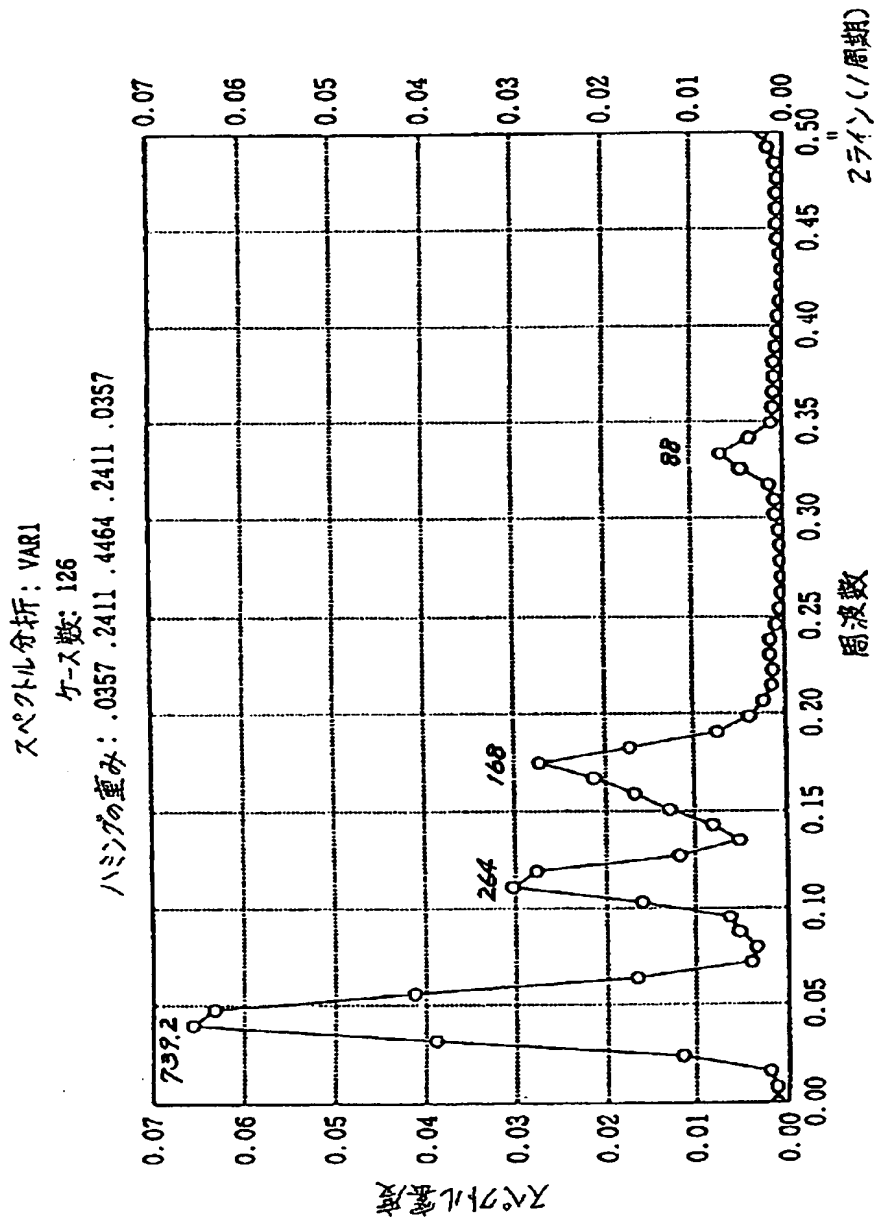
図 39





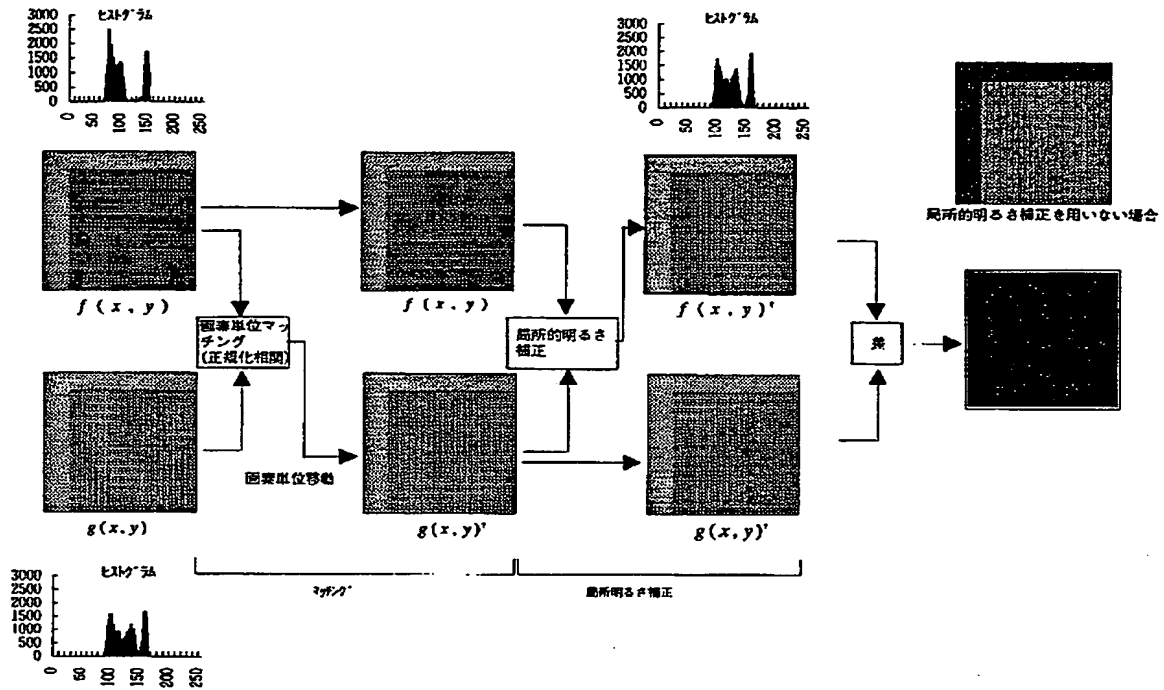
【図40】

図 40



【図 41】

図 41



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

半導体ウエハ上に形成されたパターンの膜厚の違いによって生じる明るさむらの影響を受けることなく、パターンの微小な欠陥を高感度に検出すること。

【解決手段】

基板上に本来同一となるように形成された複数個の組のパターンの欠陥を検査する方法において、第1の被検査パターンを検出してこの第1の被検査パターンの第1の画像を得、この第1の画像を記憶し、第2の被検査パターンを検出してこの第2の被検査パターンの第2の画像を得、記憶した第1の画像と第2の画像との明るさを合わせ、この明るさを合わせた第1の画像と第2の画像とを比較することによりパターンを検査するようにした。

【選択図】 図1

【書類名】 職権訂正データ  
【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】  
【識別番号】 000005108  
【住所又は居所】 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地  
【氏名又は名称】 株式会社日立製作所  
【代理人】 申請人  
【識別番号】 100068504  
【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内1-5-1 株式会社日立製  
作所 知的所有権本部内  
【氏名又は名称】 小川 勝男

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地  
氏 名 株式会社日立製作所